欧姆社学习漫画

漫画 生物化学

〔日〕武村政春／著

〔日〕菊野郎／漫画绘制

〔日〕Office sawa／漫画制作

滕永红／译



科学出版社

www.sciencep.com

✿前　言✿

本书作为“生物化学”的入门图书，以轻松、易懂的漫画形式介绍了生物化学领域的部分内容。

所谓生物化学就是从化学的角度来解释说明生命现象的学科。我们生物体是由什么物质构成的？在细胞中会发生什么样的化学反应？从化学的角度怎么去解释生存？可以说生物化学就是解答类似这些疑问的学科。

从19世纪末到20世纪，医学、营养学、农学、生物学等各个学科，越来越注重从化学的角度来研究各个领域所发生的各种现象，各个领域都积累了一些生物化学方面的知识。

可以说今天的生物化学是跨越这些不同领域之间的生物化学知识的总结形式。虽然各个领域的生物化学的应用目的不同，但是其基本的思考方法（从化学的角度解释说明生命现象）是相同的。

因此，这门学科对于有志于在医学、药学、农学、营养学、护理学、生物学等涉及人体和生命现象领域发展的人来说是必需的。

本书以漫画的形式简单易懂地将所有生命科学的基础——生物化学中必须掌握的重要关键点进行了解释和说明。我认为可以将这本书作为生物化学的讲义，把它当作生物化学、医学化学、营养化学等方面的参考书或课外读物来使用。

当然，各位高中生朋友以及对该领域感兴趣的人也可以好好读读这本书。

我想让大家通过本书就能掌握生物化学所必需的最低限度的知识，但是实际上这本书的结构与之前的生物化学的书略有不同。比如，一般的生物化学教科书，大体都是以总结生物体构成物质（糖类、类脂质、蛋白质等构成生物体的物质）来开篇记述的，但是本书却把关于各种物质的话题引入到相关项目中，并没有单独讲解生物体构成物质的章节。因为我认为这样会使各种生物体构成物质的性质及功能的叙述更具有统一性，与从一开始就总结性地学习相比，这种方式更容易让人理解。

另外，在第3章中有“生活中的生物化学”这一内容，它让我们思考学习生物化学意义的同时，以我们身边的话题为切入点，使我们对生物化学更加感兴趣。

本书的主人公是一个对减肥非常感兴趣的女高中生。这种设计与我自己毕业于农学系的营养化学研究室有关。提起与我们日常生活有很大关系的生物化学，最近以“生活

习惯病”为代表的社会现象，以及与营养和健康相关的内容才是其中心。因此，本书或多或少地会包含一些与营养方面密切相关的内容。

当然，如我刚才所述，通过生物化学学到的东西是生命科学领域的基础知识，因此对有志于研究生物化学的人来说，本书一定会大有用处。

在本书完成后，专门研究类脂质生物化学的古市幸生先生（日本三重大学名誉教授、现名古屋女子大学教授）和专门研究生物化学、分子生物学的吉田松年先生（名古屋大学名誉教授、现名古屋共立医院免疫细胞疗法中心顾问）对我的原稿进行了通篇审查。同时，古市幸生先生是指导我毕业论文的恩师，吉田松年老师是指导我博士论文的恩师。承蒙两位恩师在百忙之中对我的书稿进行校正，在此向他们深表谢意。

借此机会向给我提供有关凝集素印迹法资料的大学时代的师兄、现长滨生物大学的龟村和生先生以及长滨生物大学的研究生小川光贵先生、为我出版《漫画分子生物学》后继续给予我关照的欧姆社开发局、为我制作脚本和漫画的 Office sawa 的泽田佐和子以及漫画家菊野郎，还有阅读本书的读者们，在此向你们致以深深的谢意！

武村政春

✿目 录✿

第 4 章　酶是化学反应中的关键物质 149





序章

我回来啦！

啊，你回来啦！正好……

等一下！
先测下体重！

轻轻

轻轻地

啊！
一点都没有变瘦！

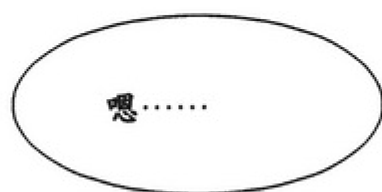
目标：减轻5kg！
消灭体内脂肪！

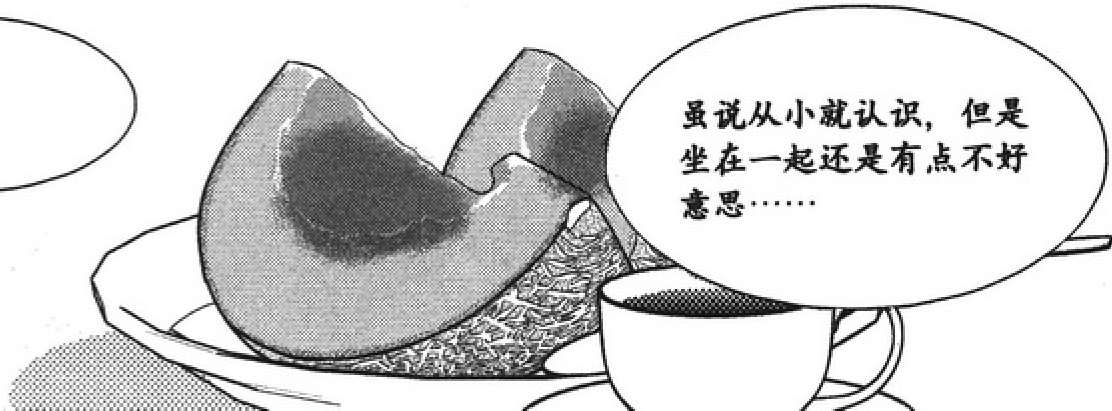

这样一直拼命减肥，对身体不好哦……
バタ
ドタ


请问……
欸？


这个是我带来的，一点小意思……
!??


难道、难道真的是根本君来了吗?
キャーッ


嗯……

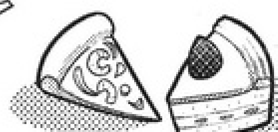

虽说从小就认识，但是坐在一起还是有点不好意思……


不过，这个甜瓜
很好吃！


可是，我正
在减肥……
ずーん
对不起啊，
是我不好……


不用那么勉强
自己的……


我觉得现在的久
美就很可爱。
呵
呵
呵
呵




感觉我的身体就是由比
萨和蛋糕组成的……
超级爱吃


对！我要绝食！
让我的身体脂肪
变为零！
讨厌现在胖乎乎
的样子，一点都
不可爱！


唉，
她根本就没有听
到我的话啊……

久美，有些事情你搞错了。

最根本的错误就是你说自己是个胖子，因为你并不胖。

今天的你很可爱，嗯……怎么说呢？

总之，你好像完全不明白人体的组织结构。

喀喀

我在大学就是专门研究这方面的。

简易 生物化学

生物化……学？

不，应该是生物、化学。

看起来好像很难，我对这个不太感兴趣……

那么，就拿一些日常的话题来说说吧。

热量、脂肪、碳水化合物

这些词你都听说过吧？

当然听说过！因为我对减肥很感兴趣嘛！

你看看这个！

看到了吧？

减肥特集

盛夏的苗条体形

碳水化合物

脂肪

点心

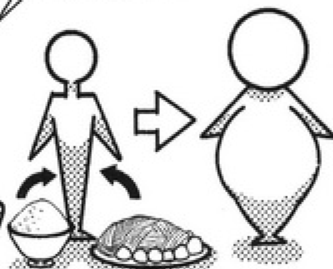
嗯，脂肪确实是高热量营养素的代表。

碳水化合物虽然称不上是高热量物质，但是如果摄取得过多，也会长胖的。

对啊，这些我都知道啦！

胖就是指脂肪在身体里积累过多。

为什么摄取过多的碳水化合物脂肪就会增加呢？



听你这么一说，我还真不明白了……

嗯……

你如果学了生物化学，就会明白这些。
也就是说，生物化学是关于身体组织结构的基础知识。
说到底就是关于生物体的“化学”……
啊哈……
听起来好像蛮有趣的，可是提起“化学”我就头疼。
总之，那些化学老师看起来都好可怕哟！
喂!!
不，我的老师就非常和蔼可亲。
这是我的老师写的参考书。
唰啦唰啦
副教授——黑坂蝶子老师。
我虽然不知道她的年龄，但她是一位非常优秀的老师。


啊，
这个老师……
太漂亮了！
简易
生物化学


久美，你把化学想象得太难了。


比如，我们吃饭后，食物会被消化掉，这也是化学反应。
啊，是吗？


那就是说在我们身体里经常会发生化学反应？


确实如此。
其实我们生物体就是由各种各样的化学物质组成的。
蛋白质
水
脂肪
维生素
碳水化合物
矿物质
全部都是化学物质
刚才我们所提到的碳水化合物和脂肪也是化学物质。


平常一直关注着体重的数值，
但却从未从化学的角度来思考身体。

化学是非常重要的。

也就是说，"生物化学"是从化学的角度来研究我们

这些有生命的生物体中所发生反应的学问。









第二天——

黑坂研究室

你好！

你好，久美！

欢迎来到
黑坂研究室！

果然是位
美女！

嗯……嗯……我想
冒昧地问一下……

？

如果学了生物化学，就会变得像您一样漂亮吗？







构成我们身体材料的食物以及营养的“化学反应”与我们身体组织结构的“化学反应”密切相关。

这也能让我们查清病因，

有利于医学的发展和增进身体健康。

当我们熟知身体结构后，

对健康和美丽都有益哦！

酷毙了！

如果学习生物化学，可能会变得像老师一样漂亮！

还可能了解减肥的秘诀……

我……我……一定会好好努力的！

非常欢迎有干劲的学生！

那么，

你能马上把这杯水喝了吗？

在这个水中放入了我们肉眼看不到的微型机器人，

我们可以通过这个机器人观察到久美的身体内部结构。



黑坂研究室开发的机器人，
同时也是吉祥物。
名字 ：喵喵机器人

那我喝了！

咕咚咕咚

哦！

那么……

くるっ

让我们开始学习生物化学吧！

第1章

身体中发生的化学反应

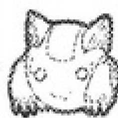


1. 细胞的组织结构

投影室

请到里面来！

わあっ



刚才你喝进肚子里的微型机器人所拍摄到的影像会在这里显示出来。

是啊……
就让我们先来学习一下身体中发生的化学反应吧！

准备中

真想快点看看啊，我的身体内会发生什么状况……

通过绝食来减肥是非常不合理的！

不了解身体内部情况，光追求外表美丽是不行的。



你们在高中的生物课上学习过细胞的相关知识吧？

细胞看起来像一个小袋子，它是组成我们身体的基本单位。

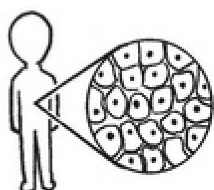
变形虫是由一个细胞组成的“单细胞生物”……



像人、狗、植物那样能够用肉眼所见到的生物都是由许多细胞所构成的“多细胞生物”，对吧？

没错！

比如一个成人的人体就是由60～100兆个细胞组成的。



细胞是我们身体生命活动的最微观存在。

黑坂老师的漂亮脸蛋也是由细胞组成的吧？

呵呵！！

影像马上就要出来了！



パッ

哇！好恐怖啊！

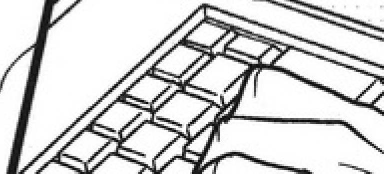


久美的细胞



拍得好清楚啊！

让我们调整一下焦距，把镜头对准一个细胞。

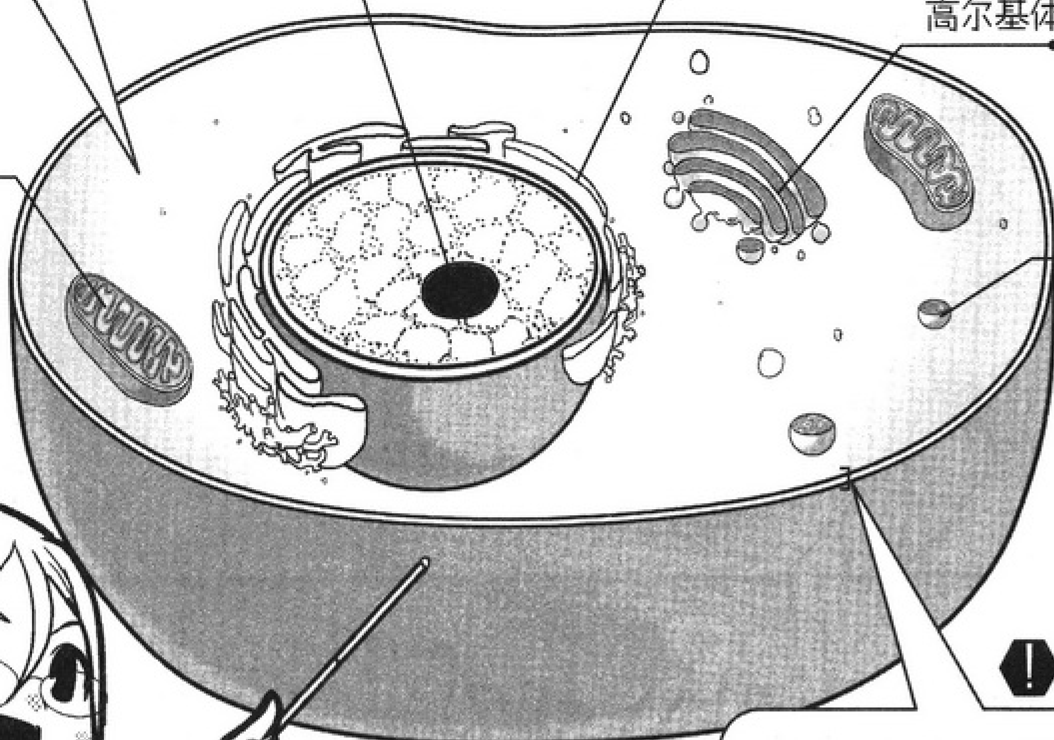


细胞有什么特征?



POINT

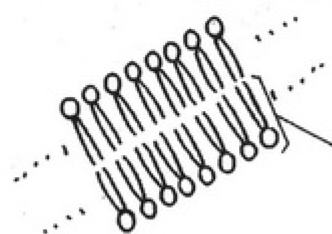
在细胞质基质中存在着许多蛋白质和糖类等物质，这些物质经常会发生各种化学反应。





POINT

细胞被一层柔软的膜覆盖着，这层膜叫做“细胞膜(脂质双层膜)”。



磷酸等 → 亲水性

脂肪酸 → 疏水性

“磷脂质”这种脂类物质并列构成薄膜，并进一步形成双层膜。

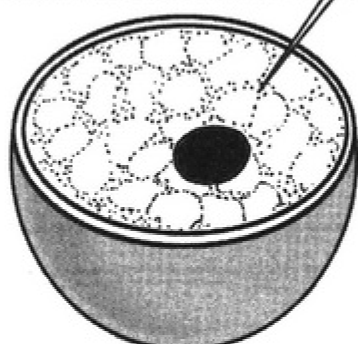


POINT

在细胞核中存在着一种被称为生命的设计图的重要物质，它的名字叫做 DNA。

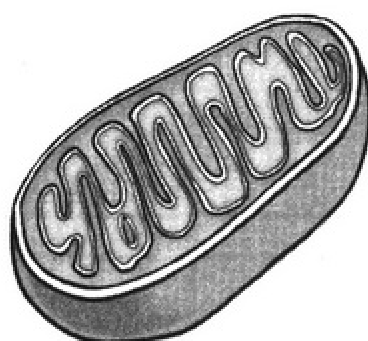
容纳 DNA 的细胞核可以叫做细胞的“司令塔”。

细胞核



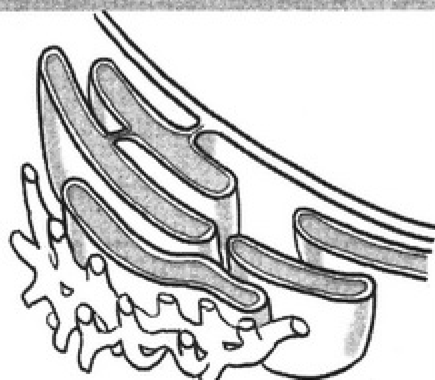
DNA 的容纳库
发现基因

线粒体



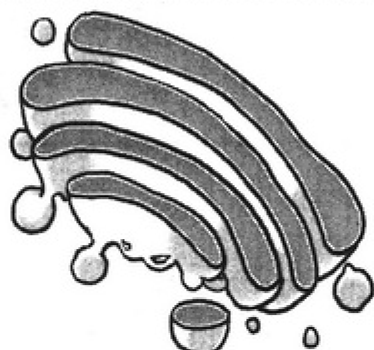
产生能量

内质网和核糖体



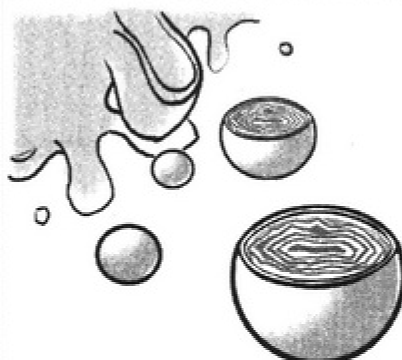
合成蛋白质

高尔基体



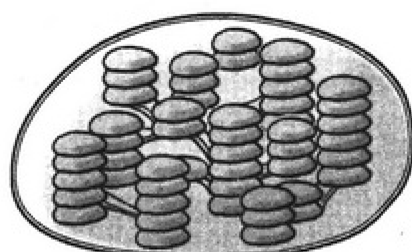
分泌蛋白质

溶酶体



处理、消化不需要的物质

叶绿体



光合作用

POINT

在植物和一部分微生物中存在着叶绿体。



2. 细胞中发生的故事

细胞是被细胞膜包围着的非常重要的“袋子”，

它能够制造出生物生存必需的蛋白质和能量，并且与其他细胞一起形成生物机体。

能量

蛋白质

要想了解生物的组织结构，

就必须知道细胞内部的情况。

我身体中的细胞每天都在做什么呢？

嗯，
难以想象
……

那么，请看这边的白板！

这就是“细胞中所发生的一切”！
虽然在细胞中会出现各种各样的情况，但是让我们先一起来学习以下 4 种具有代表性的现象。

①合成蛋白质
②代谢物质
③生产能量
④光合作用（主要是植物）

合成蛋白质

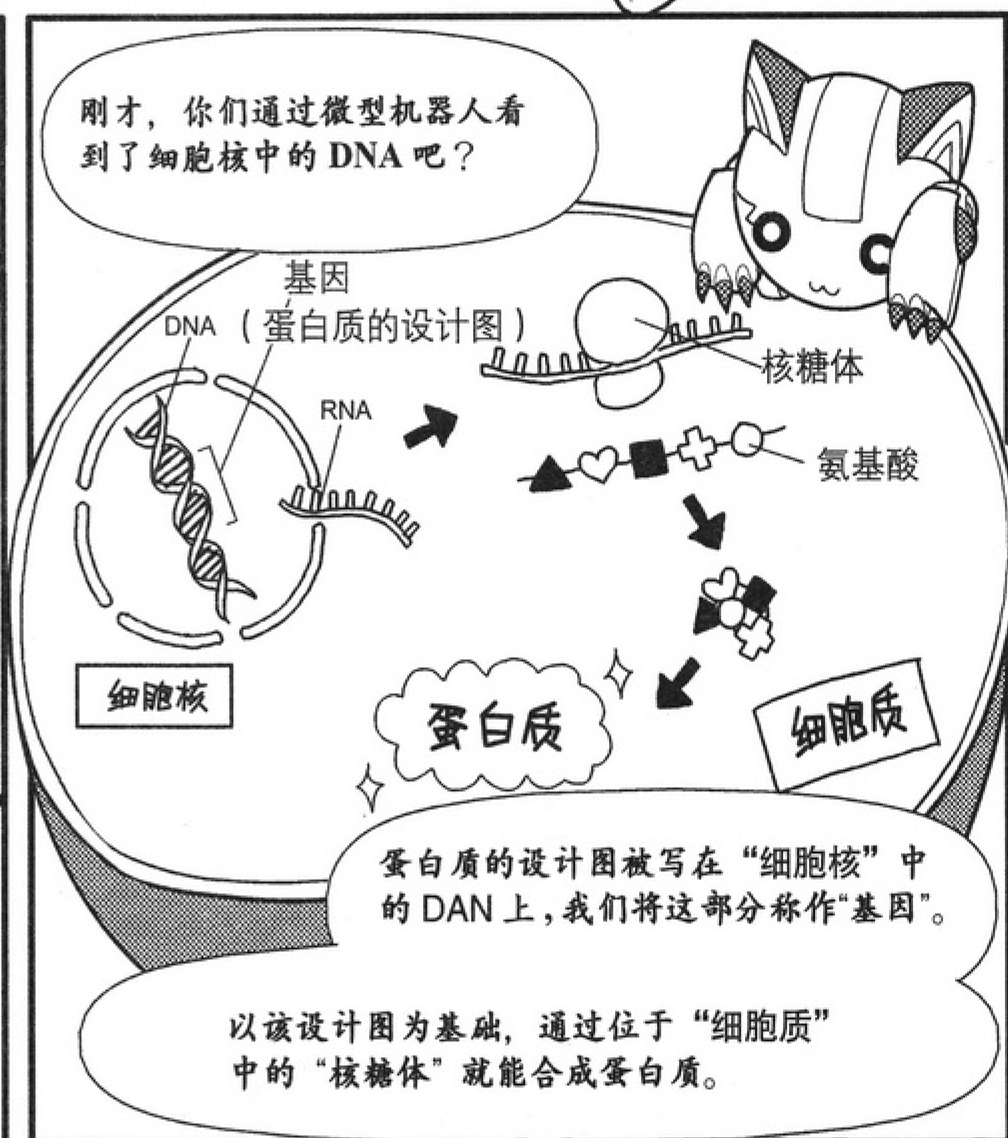


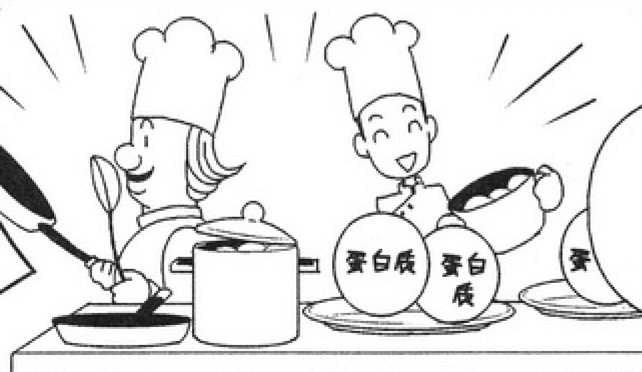
嗯！蛋白质有很多种，不同的蛋白质其功能不一样，我们的身体就是依靠各种不同的蛋白质支撑着。

- 维持身体形状
- 进行消化
- 制造肌肉
- 保护身体免受外界伤害等



因此，在各种细胞中，蛋白质总是连续不断地被合成出来。





把设计图比作食谱，感觉就像在厨房做饭一样！



物质代谢

生成的蛋白质在细胞内外发挥着各种功能。

不过，其中最重要的功能是……



把进入身体的营养素和药等物质转化成有益物质，

把不需要的物质排出体外。

我们将这种物质变化叫做“代谢”。

在促进代谢的过程中起核心作用的就是蛋白质。

分解我们饮食所摄取的营养素，促使身体将这些营养素吸收，并将它们转化成适当的物质来合成制造生物机体所必需的材料……

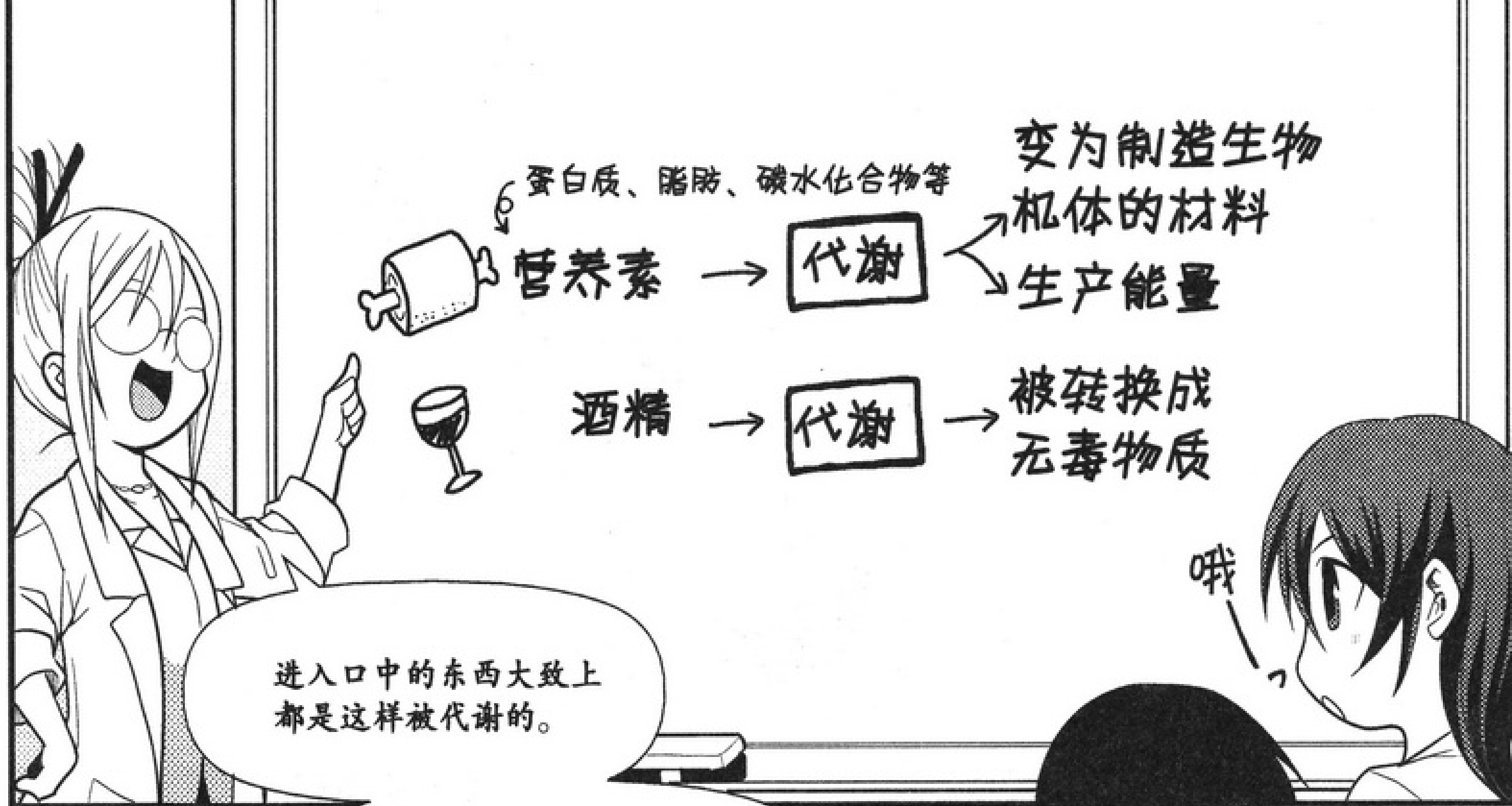
这就是蛋白质的专业工作！

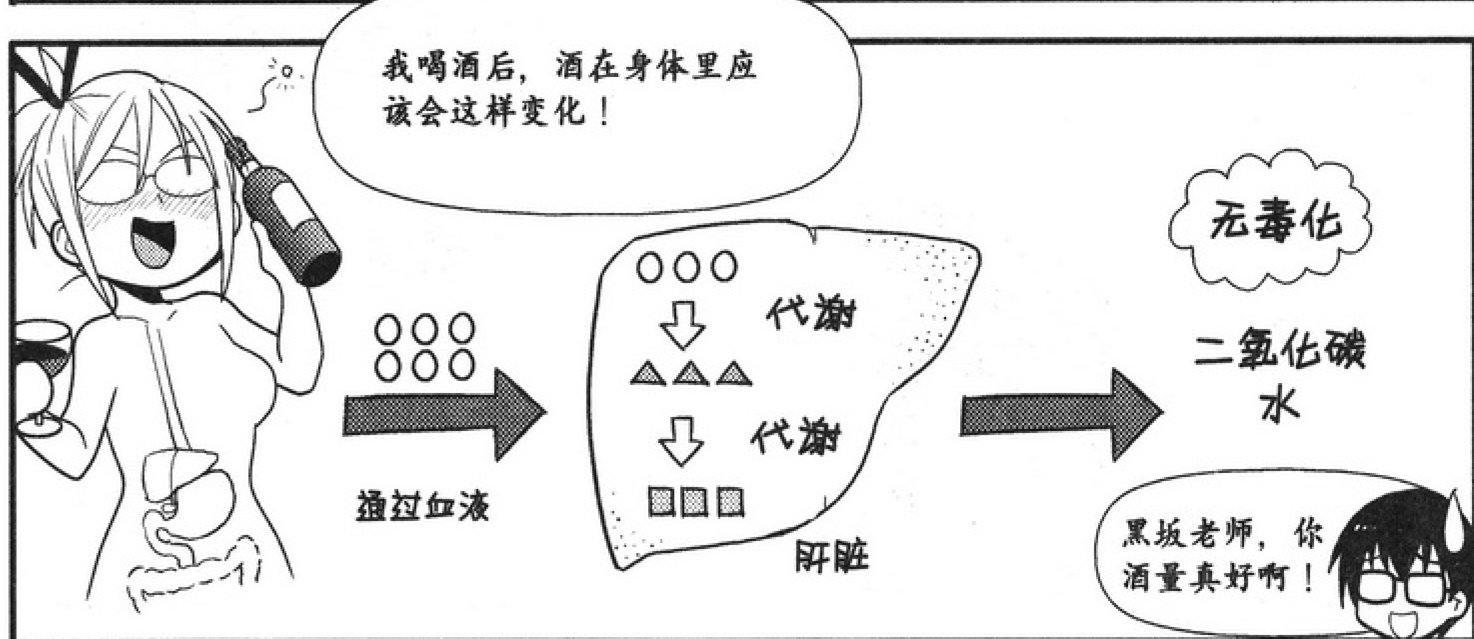
啊—

酒中所含的酒精对细胞来说本来是一种毒性很强的物质，不过，肝脏细胞能够将其分解生成一种无毒的物质。这也是蛋白质的专业工作！

生病时所喝的药本来对身体也不太好，但是，药在身体不适部位发挥药效的同时，也会被肝脏细胞逐渐分解……这也是蛋白质的工作！

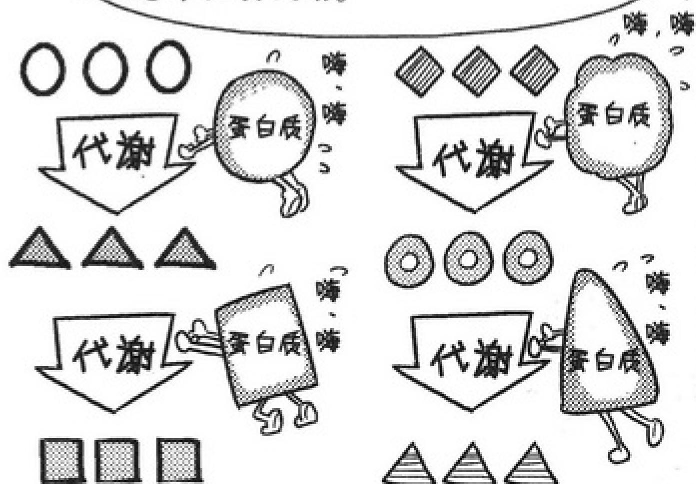
喀，喀





蛋白质进行物质代谢。

在细胞膜、细胞质、细胞核以及其他的所有细胞器中，许多种类的蛋白质进行分工合作，时时刻刻都在进行物质代谢。



我们在吃饭时、感冒时、睡觉时，蛋白质都在不停地发挥着它的作用。

我觉得细胞比我勤劳多了……

生产能量

不过，根本君……

你说过这个月手头很紧吧？

呵呵呵

什么嘛！怎么突然这么说？

啊……
也不是……

嗯……

其实是相当紧……

“金钱”是我们现在社会经济生活和消费生活中不可缺少的物质。

与此同理，也存在着细胞活动不可缺少的物质。

这就是各种化学反应所需能量物质。



它是一种小分子物质，叫三磷酸腺苷（ATP）。

是腺苷和磷酸吧？

一般简称它为 ATP。

ATP 这种物质是生物体各种活动不可缺少的。

●合成蛋白质时
●蛋白质工作时
●进行光合作用时

ATP



如果将蛋白质或细胞比作人的话，那么 ATP 就是金钱！也就是说它是机体活动必需的物质。

当我们买面包时、乘电车时，钱都是必需的。

呜呜

想象到我有多可怜了吧？

今天也必须制造 ATP。

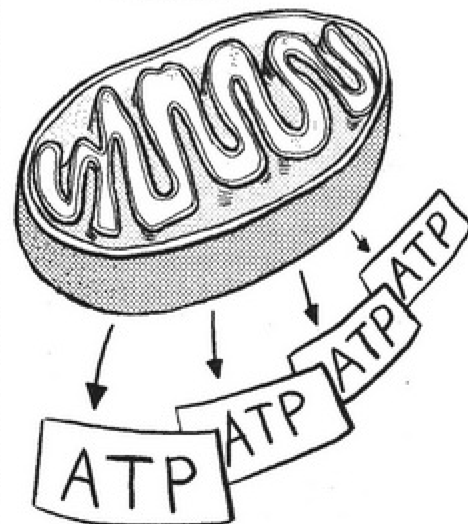
因此，与合成蛋白质一样，细胞也必须连续不断地制造 ATP。为此，细胞离不开糖分（= 碳水化合物 = 糖类※）和氧气。

今天也必须赚钱。

可以说我们吃饭呼吸就是为了制造出蛋白质的活动资金 ATP。

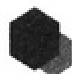
就像工作是为了赚钱一样。

ATP 是在“细胞质”和“线粒体”中被生产出来的。

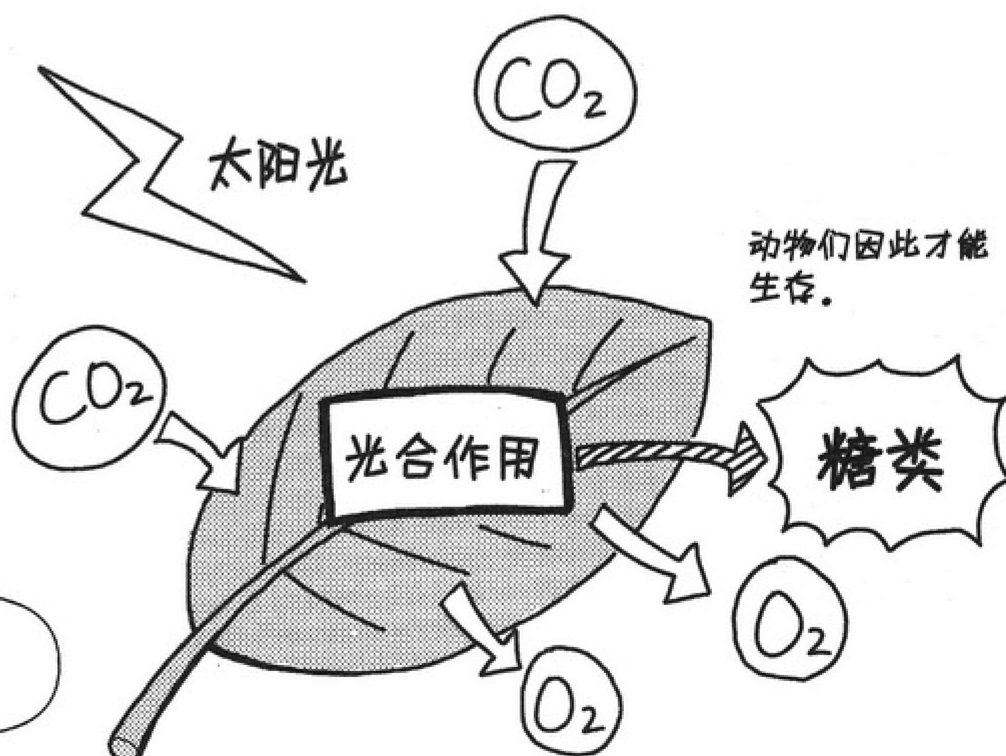


蛋白质等使用的“共同的能量货币”。

※ 除非本书特别指明，之后都称作“糖类”。



光合作用

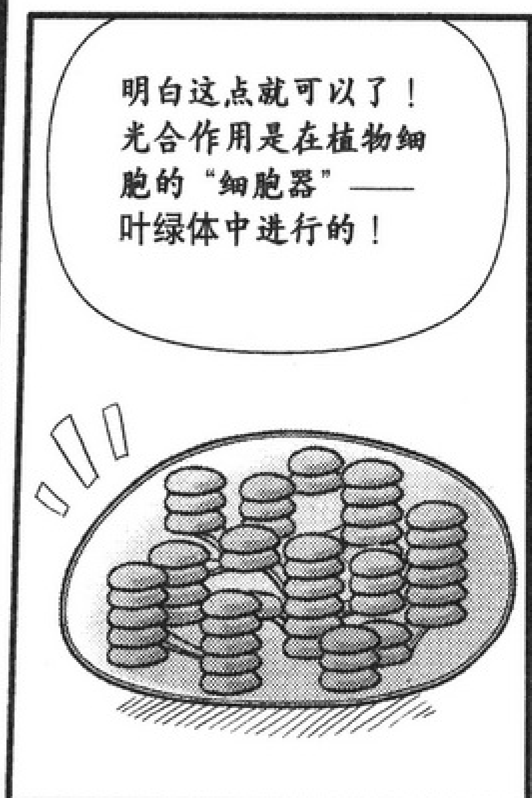


※ 也包含单细胞绿藻类等。


太阳光
动物们因此才能生存。
光合作用
糖类
光合作用是利用太阳光和二氧化碳合成糖类的反应。
啪！
糖类是生产 ATP 所必需的物质！
并且通过光合作用还可以生成副产物——氧气。


久美，你明白是怎么回事了吗？
嗯！
因为糖类和氧气对我们生物来说是生产 ATP 所必需的，
嗯！
所以光合作用对于我们生物来说是必需的。
没错！植物对于我们来说是多么重要，这点你明白了吧？


嗯，如果植物不进行光合作用，我们生存就会很困难……
没法过了……
没有 ATP，做什么都不行……
久美……


明白这点就可以了！光合作用是在植物细胞的“细胞器”——叶绿体中进行的！

3. 细胞——多种化学反应进行的场所

啦啦啦～♪

哈哈，今天我学到了好多东西，或许我离变成美女又近了一步！

生物化学

秘

笔记

欸？但是……

①合成蛋白质
②物质代谢
③合成能量
④光合作用

虽然我明白了在细胞中所发生的具有代表性的“生命现象”，但是似乎和“生物化学”没有关系……

细胞中所发生的活动和生物化学有关吗？

那个，

那当然！有很大的关系！

实际上这些生命现象本身都是“生物化学”的研究对象！

为什么这么说呢？

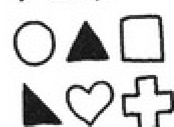
①合成蛋白质
②物质代谢
③生产能量
④光合作用

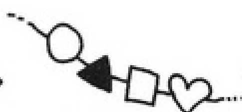
那么，让我来依次讲解一下其中的理由。

唰

关于蛋白质合成的生物化学

蛋白质合成是如何进行的呢？







实际上蛋白质是由许多“氨基酸”小分子连接而成的。

能够组成蛋白质的氨基酸有20种。

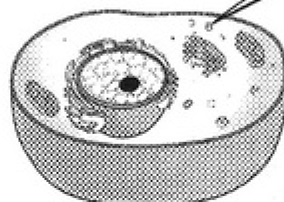


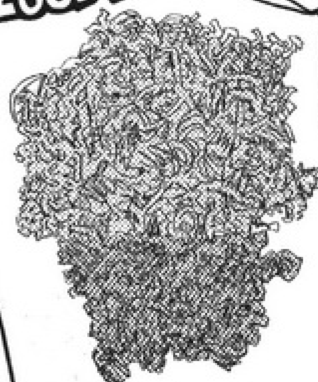


这20种氨基酸按照不同的顺序和不同的数量组合成各种各样的蛋白质。



合成蛋白质的细胞器是核糖体，核糖体有的附在内质网上，还有很多漂浮在细胞质内。

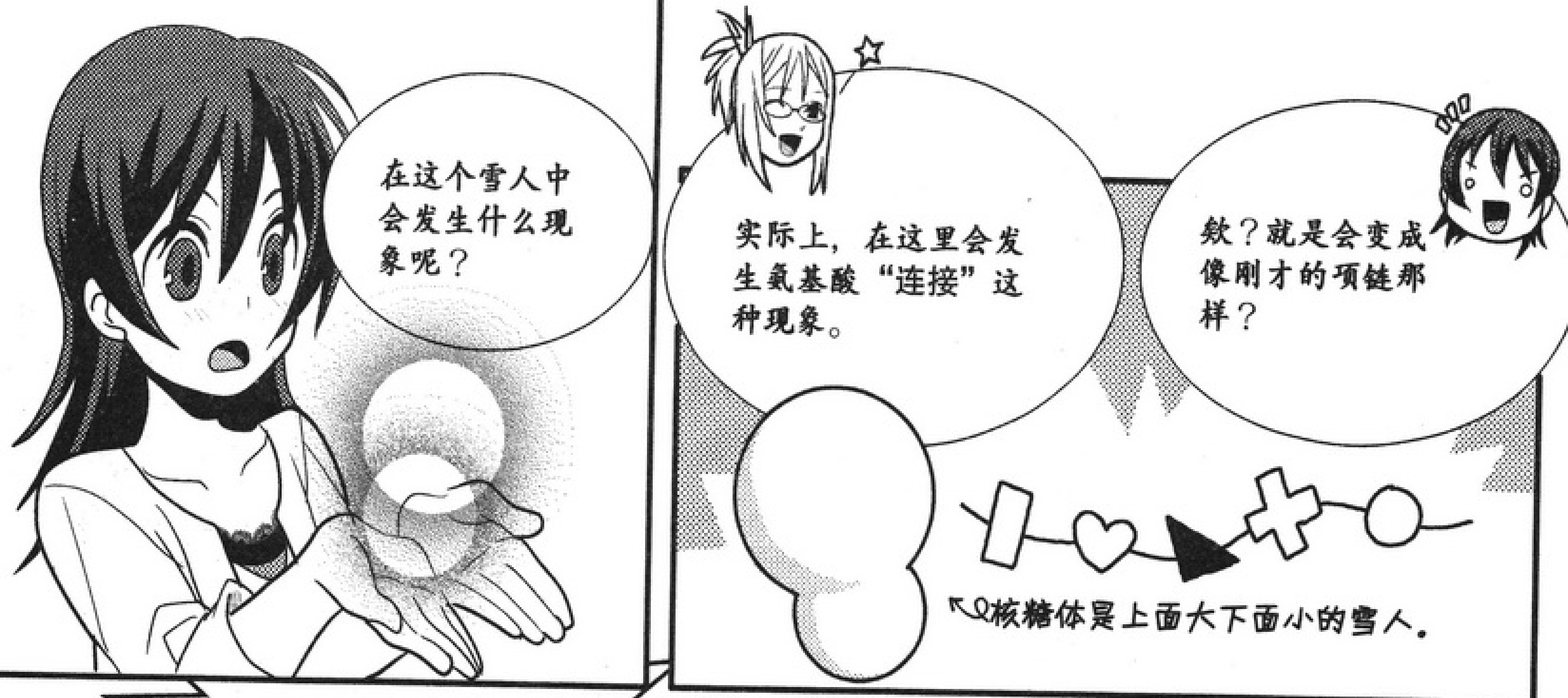






虽然只是像芝麻盐一样的小颗粒，但是变焦后观察就呈现出奇怪的形状。

这个看起来很复杂，但是简单地说核糖体就好像是雪人一样。



氨基酸“连接”，那是一种化学反应。

分开来看……

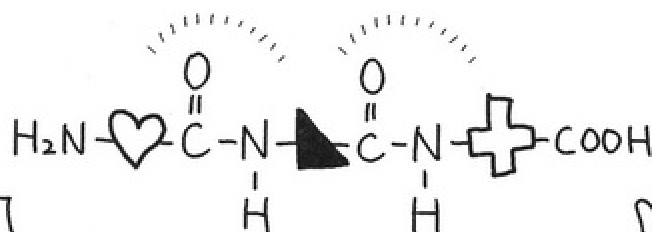


化学反应



一个氨基酸

连接起来！



也就是说氨基酸的一部分与其他氨基酸的一部分经由化学反应而结合为一体。

生物化学就是“从化学的角度来研究在生物体内发生什么现象”的一门学科……

啊，就是刚开始根本君说的那样！

呀

现在说懂还为时过早，

氨基酸通过化学反应连接起来能够生成蛋白质，

这正是“生物化学”的关键。

蛋白质

关于物质代谢的生物化学

我们一般把某种物质转变为其他物质的过程称为代谢，是吧？

物质A ——→ 物质B

化学反应

其实代谢也是一种化学反应。

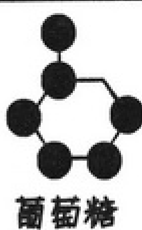
哦……

记下来，记下来……



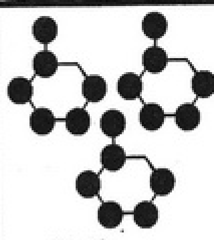
丙酮酸

化学反应



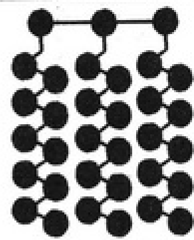
葡萄糖

比如肝脏和肾脏细胞中所进行的“糖异生”就是把“丙酮酸”转化为“葡萄糖”这种糖类物质的化学反应。



糖类

化学反应



脂肪

（中性脂肪）

当我们过度摄取糖类时，糖类会转化为脂肪并蓄积在身体内，这个过程也是化学反应。

●：表示碳原子

脂肪……

啊！讨厌！我讨厌这个化学反应！

酒精毒素的分解也是那样哦！

也就是说，学习物质代谢的现象，

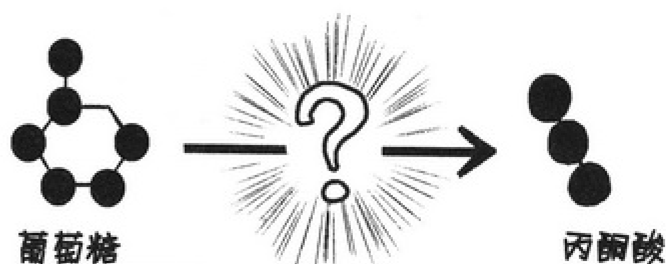
等于学习“生物化学”！

关于能量生产的生物化学

实际上能量的生成也是代谢的一种。

物质A ——→ 物质B

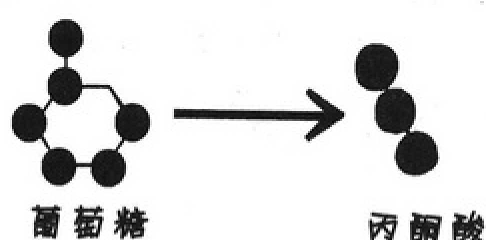
化学反应



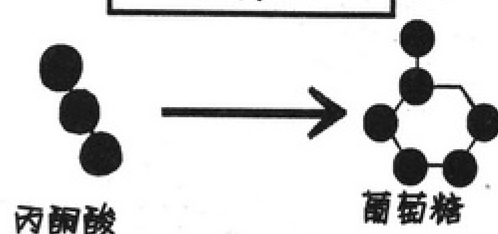
为了生产能量，最初“葡萄糖”在细胞质中将被分解生成“丙酮酸”。

啊，葡萄糖和丙酮酸好像刚才也出现过吧？

很好！这是“糖异生”的逆反应。



糖异生



试着将它们比较一下，就会很清楚了！

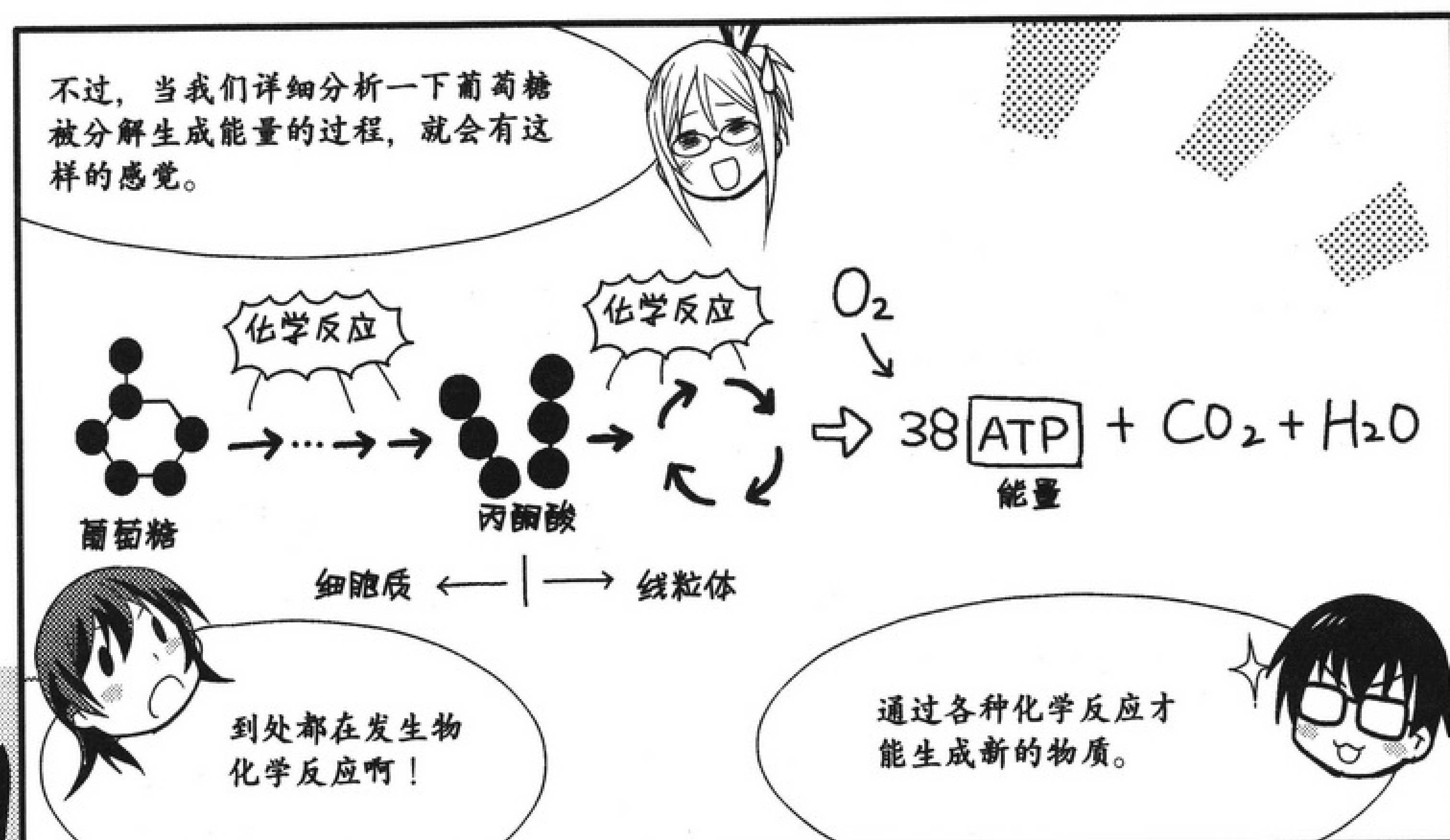
我们将这个分解糖类物质的过程叫做“糖解”。

分解糖类！

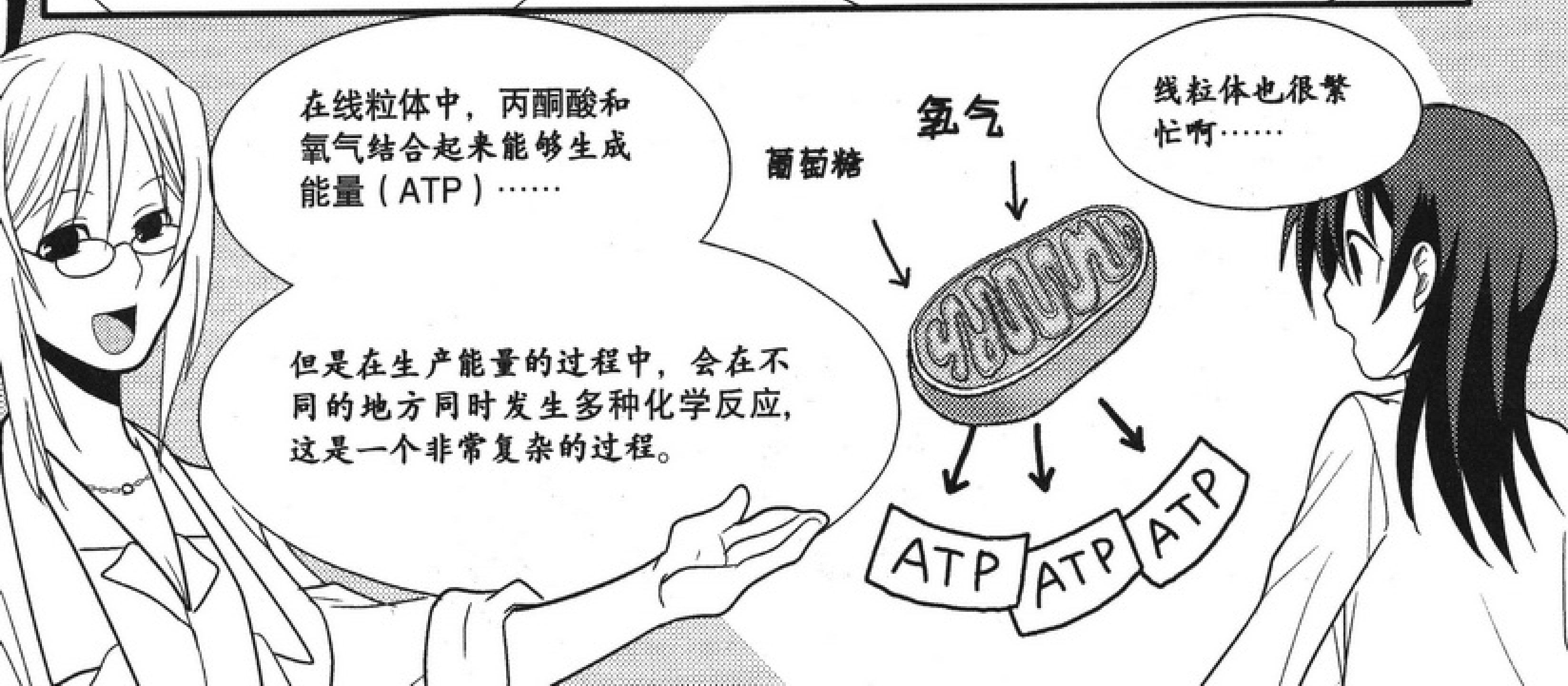
呼



对，对！
“糖解”很容易理解……
我在考试时也回答得很好！



不过，当我们详细分析一下葡萄糖被分解生成能量的过程，就会有这样的感觉。
化学反应
化学反应
O_2
葡萄糖
丙酮酸
38 ATP + CO_2 + H_2O
能量
细胞质
线粒体
到处都在发生物化学反应啊！
通过各种化学反应才能生成新的物质。



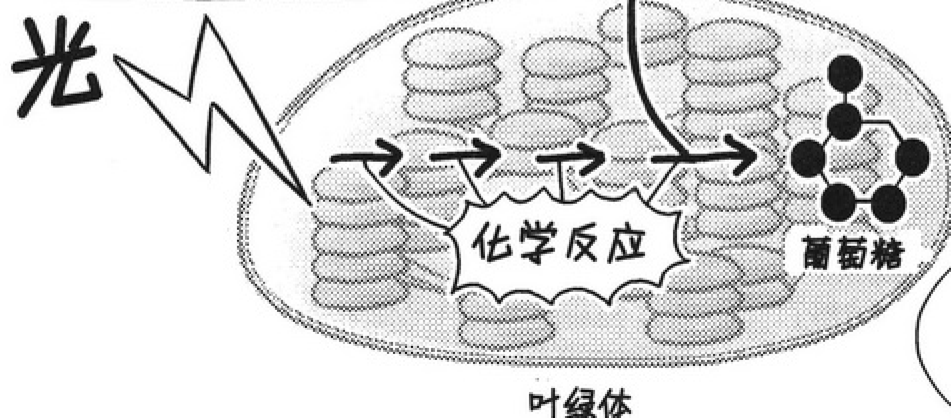
在线粒体中，丙酮酸和氧气结合起来能够生成能量（ATP）……
但是在生产能量的过程中，会在不同的地方同时发生多种化学反应，这是一个非常复杂的过程。
氧气
葡萄糖
ATP
ATP
ATP
线粒体也很繁忙啊……

关于光合作用的生物化学

最后是关于植物的光合作用……

位于植物细胞中的“叶绿体”中，如果有阳光照射，就会发生复杂的化学反应。

此化学反应过程，以二氧化碳为材料，生成葡萄糖等糖类物质。



生成葡萄糖的一系列反应步骤都是化学反应。

欸？嗯……那么，

①合成蛋白
②物质代谢
③合成能量
光合作用

这些全部都是化学反应吧？

你都注意到了啊！

确实如此！

在此想说明的只有一点！

在我们的细胞中所发生的机体活动几乎都是“化学反应”。

ぐっ

也就是说，细胞是无数化学反应的发生“场所”。

化学反应 ① ② ③ ④

原来如此，在我们身体细胞中，

一直都在发生各种各样的化学反应。

这些化学反应几乎都在一瞬间以惊人的速度进行着。

并且这些化学反应整体上都是大规模、有次序地进行着，因此我们的细胞才得以生存下去！

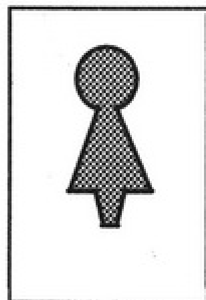
生存……
这是多么惊人的话题！

在那些微小的细胞中所发生的各种现象是多么令人不可思议啊！

我觉得生物化学好有趣哦！

好！

今天的学习就到此为止！



微型机器人暂时完成任务了

投影室

今天是第一次学习，累不累？

还好，非常有趣！谢谢您！

再见！



根本君？

嗙

和自己喜欢的人在一起，

研究更专心了啊？

哦，不，不……不是那样！我是想让更多的人对生物化学产生兴趣。

ひぃ～～

好吧……
好吧……

就当是那样吧！

请不要误解！
我真的没有任何想法！

这人……

那个……

学习过后，天空看起来真美啊！

平时那么严肃认真的根本君在久美面前就会害羞，真有意思！

再见！

くっくっく

我来撮合他们一下！

4. 生物化学基础知识

下面让我们来解释说明一下学习生物化学必须知道的专业术语。

从元素到生物高分子

●碳

首先让我们来了解一下在生物化学中最重要的元素——碳。

碳的元素符号为C，原子序号为6，原子量为12.0107。以碳元素为主要成分的化合物（有机化合物），不仅仅存在于生物圈中，而且也广泛存在于岩石圈、大气圈、水圈中，它通过生物的呼吸和光合作用等化学反应，在这些圈之间不断地循环着。1个碳原子可以提供4个共价键与4个原子结合起来，因此它能组合成许多许多种有机化合物。蛋白质、脂类、糖类、核酸都是以碳原子为骨架结合而成的。维生素等也是以碳原子为骨架形成的。

我们经常会把地球生物表示为“碳素型生物”。生物体被燃烧后，就会变成“碳块”。这是因为我们身体也是以碳元素为主体构成的。

●化学键

碳元素与氧、氢、氮等其他元素（之后统称为“原子”）结合，可以生成各种各样的化学物质。这些“元素间的结合”是化学物质形成的基础。

也就是说，除了氦和氩等一部分气体外，其他的化学物质几乎都是由2个以上的原子结合在一起以分子的形态存在着。比如水分子（H_2O）就是由2个氢原子（H）和1个氧原子（O）结合而成的。我们将连接原子的键叫做**化学键**。

化学键包括距离近的原子间共有电子（位于原子最外侧的最外层电子）而产生的“共价键”、离子间通过静电作用而产生的“离子键”、金属原子间相互作用形成一种具有金属特性的“金属键”等。

碳原子与4个原子的结合均为共价键结合。

●生物高分子

通过化学键形成的分子有大有小，种类繁多。其中，在生物化学学习中非常重要的分子有**生物高分子**。

它是生物体中的高分子（分子量大的分子）的总称，包括蛋白质、脂类、核酸、多糖。分子量究竟在多少以上，这并没有一个特别明确的定义，但是一般情况下生物高分子中不包含“单糖”。因为在生物高分子中，分子量大的一部分分子能够形成各种各样复杂的结构，所以在像细胞那样复杂的系统中可以随时应用这些结构。

生物化学中的关键词

●酶

因为生物化学是一门从化学的角度来解释说明生命现象的学问，所以理解化学反应的原理非常重要。在这些化学反应中，有一种非常重要的物质就是**酶**。酶是在生物体的化学反应中拥有催化作用的蛋白质的总称。在生物体内的一切化学反应，几乎都是以酶作为催化剂而进行的。

在酶促化学反应中，酶作用的物质被称为**底物**。酶的活性与温度、pH 值等生物体内环境以及底物的浓度有很大关系。

最近我们发现除了蛋白质以外，某种 RNA 也具有催化化学反应的能力。我们将它叫做 RNA 酶或**核酶（ribozyme）**。

●氧化还原反应

酶是各种化学反应的催化剂，它大致可以分为 6 种，这在第 4 章中我们将做详细介绍。其中第一种叫做氧化还原酶。关于这种酶本书没有提及太多，但是氧化还原反应却是生物化学中相当重要的化学反应。所谓氧化还原反应是指两个物质间的电子发生转移的反应，即失去电子被氧化，得到电子被还原。通常，如果一个物质被氧化，另一个物质就会被还原，所以氧化和还原是同时发生的。

在生物体内，电子转移时大多伴随着氢离子（H^+）的转移。

在本书第 2 章将要讲解的 NADPH、NADH 等在化学反应中就发挥着还原对方物质的还原剂的功效。

● 呼　吸

在本书的第 2 章我们将会接触到**呼吸**。什么是“呼吸”，实际上基准不同其定义也会不同。从广义上来讲，呼吸可以定义为在化学反应中通过氧化还原反应来获取能量的过程。但是，光是这样定义，其意思并不明确。在本书中，我们可以将呼吸作以下理解。

“所谓呼吸，是指在分子态氧（O_2）的参与下，有机化合物被分解成二氧化碳、水等无机物，并供给生物体能量的反应。

另外，我们把利用肺吸入氧气排出二氧化碳的气体交换叫做**外呼吸**，将细胞所进行的气体交换叫做**内呼吸**。

● 代　谢

在我们体内，包含呼吸在内所发生的各种化学物质的变化都是由化学反应所引起的。

我们将这些化学物质在生物体内的变化过程叫做**代谢**。代谢大致上可以分为**物质代谢**和**能量代谢**。但是这样的划分是看以“物质变化”为基准还是以“能量收支”为基准来确定的，并非明确将其划分为 2 种。在本书中，提到代谢可以将其考虑为物质代谢。

① **物质代谢**

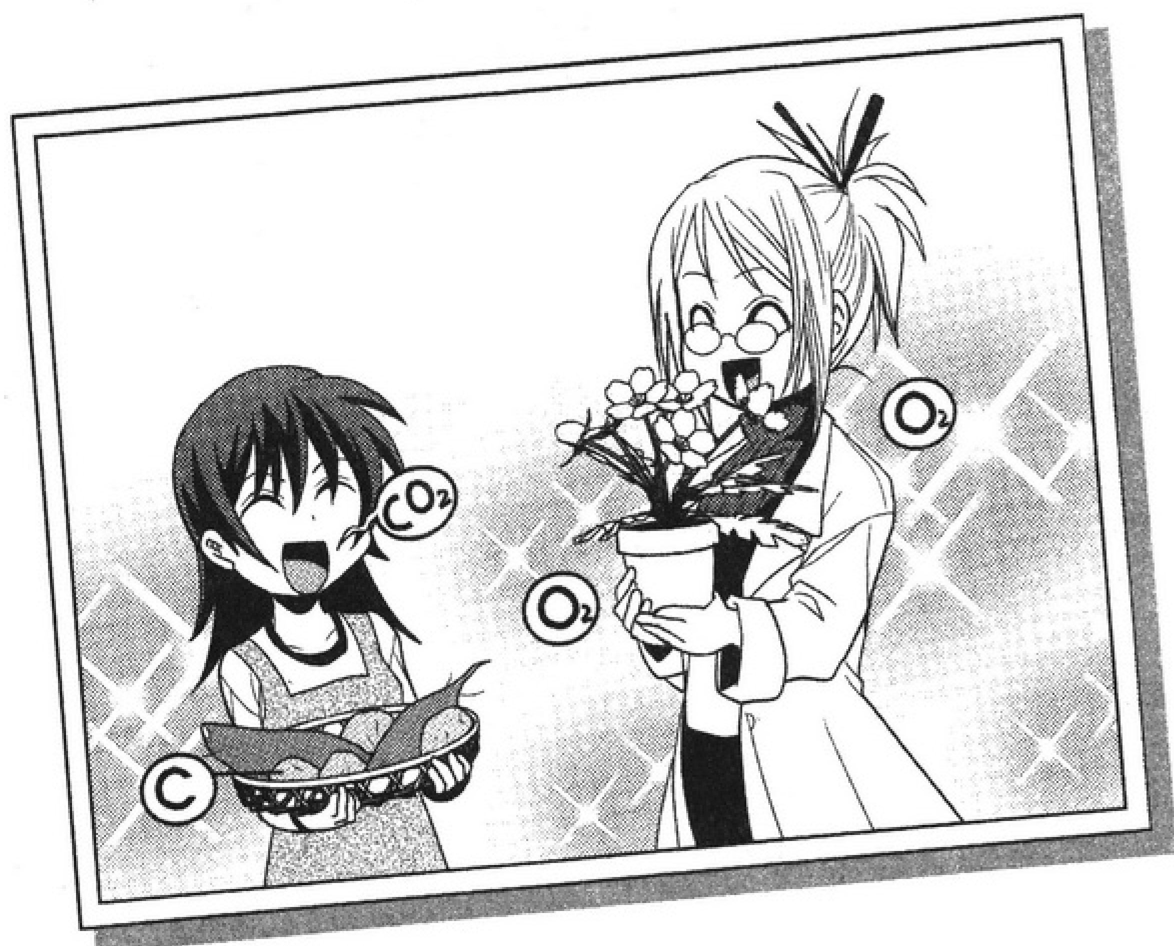
物质代谢是指在生物体内发生的物质变化。由各种各样的酶催化的化学反应也被包含在物质代谢内。另外，我们将复杂的物质被分解为简单的物质的反应叫做**异化作用**，将简单的物质被合成为复杂的物质的反应叫做**同化作用**。

② **能量代谢**

能量代谢是指在生物体内所发生的能量的收支以及转换。其中包含通过呼吸作用而形成的能量以及在光合作用中叶绿素所捕捉到的光能以 ATP 的形式被储存在生物体内的反应。

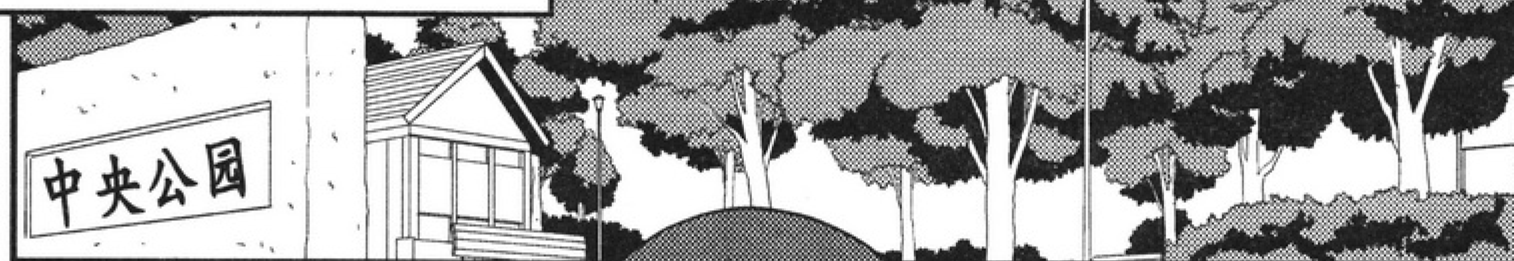
第 2 章

光合作用和呼吸



1. 物质循环

生态系统和物质循环









对！我们要爱
地球，限制使用
调。

炎热的夏天吃一口
冰激淋，感觉真棒！

好热啊！
真好吃！

这似乎跑题了
吧……

不过，说起地球环境这个词，
感觉有点模糊，其意义我还
不是十分了解。

这确实是一个内容丰富
的话题。

嗯！那么，让我来给久美解释一下
我们地球的环境是如何构成的。

好的！

有一个词叫“生态系统”，它与环境有
很大关系。

生态系统包括着某个统一区域所生存
着的一切生物以及生物周围的环境。

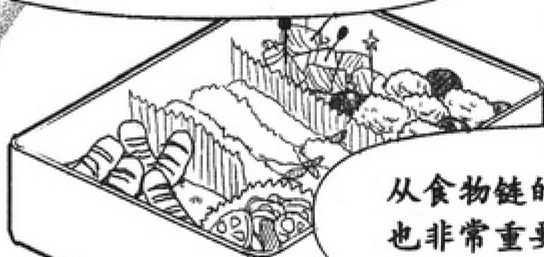
地球环境就是这样构成的
一个系统。




地球最大的特征就是"有生物生存"。
所以你将地球环境理解为"生态系统"也不算言过其实。



嗯！嗯！



那么，生态系统到底是靠什么维持着呢？



从食物链的角度来理解生态系统也非常重要，但是……



在此，我们必须从化学的角度来理解生态系统的构成。
所以称之为生物化学！



关键的思路就是"物质循环"。
物质循环



是什么在不断地循环着呢？

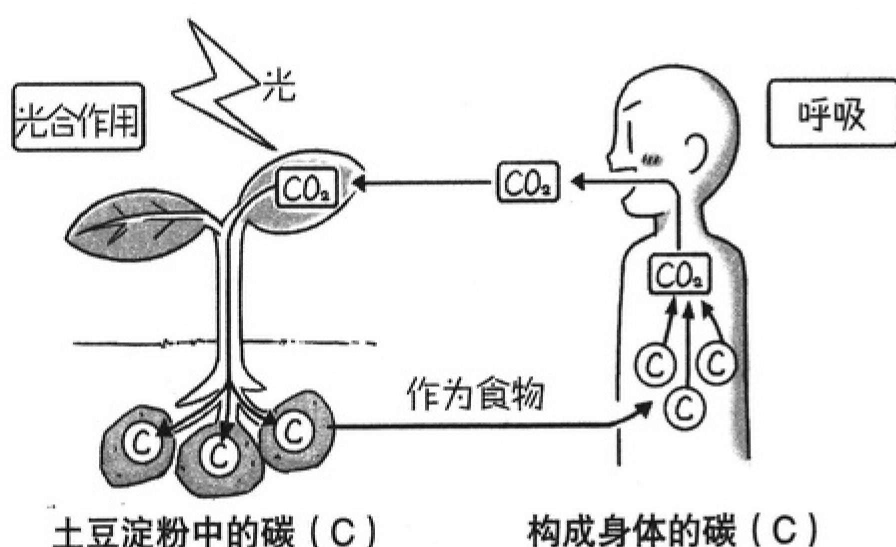


好！是这样的！
下面我就物质循环做一下详细说明。

何谓物质循环？



各种生物之间的食物链，以及呼吸、植物的光合作用等这些具有生态系统特征的现象都有一个共同的结构原理，我们将这个结构原理称为“物质循环”。





例如“生物 A 以生物 B 为食”，这就意味着构成生物 B 的物质会转移到生物 A 中。

在这些物质中，特别重要的元素就是碳（C）。



请看上面的图。久美吃了土豆以后，土豆中的碳就会转移到久美的体内。



我一呼吸，体内的碳（C）就会生成二氧化碳（CO_2）被排出体外吧。



对！并且排出体外的碳（C）通过光合作用会被植物吸收，然后变成一种糖类物质淀粉中的碳。



接着，久美或牛吃土豆后，碳（C）又再度回到生物体内。



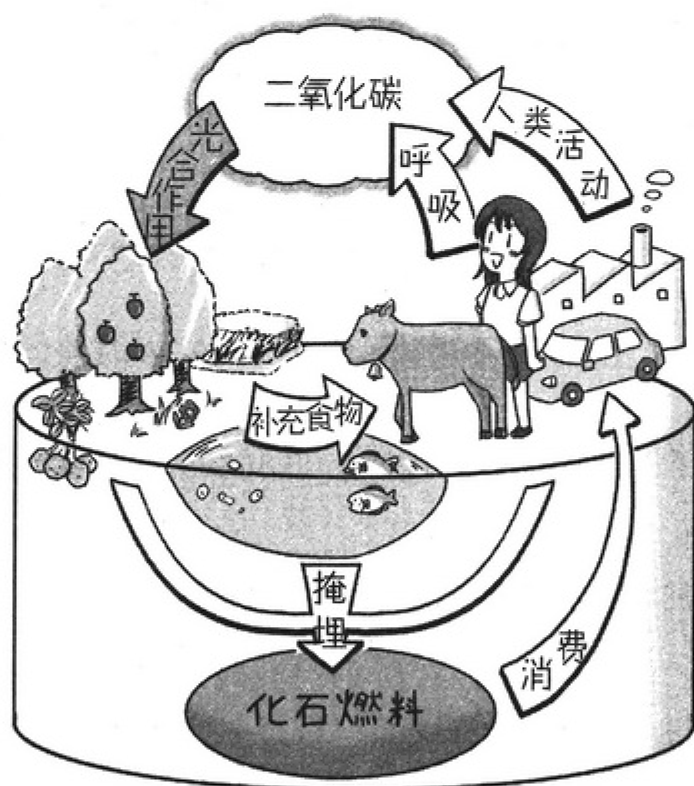
久美吃了牛肉以后，碳（C）也会从牛的身体中转移到久美的体内。



我非常爱吃烤牛肉……碳会在各个地方不断移动。这种移动就是循环吗？



对！整个地球一直都在进行大规模的循环。



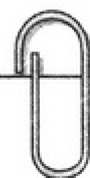


原来这样啊！我吃的米、土豆、苹果都与某个生物所吐出的二氧化碳有关啊！



不仅是碳，氢（H）、氧（O）、氮（N）、硫（S）这些元素也同样会从一个生物体内转移到另外一个生物体内，或者是被排放到空气中，或者是溶入到大海中，或者是被深埋在地下。这样不断地变更场所，在地球上循环着。

物质循环得以顺利进行表明了生态系统和地球环境的健全。



碳循环



那么，接下来我将详细讲解一下碳循环的相关知识。



嗯，碳？

刚才多次听到这个词，但是对它还不是很了解。



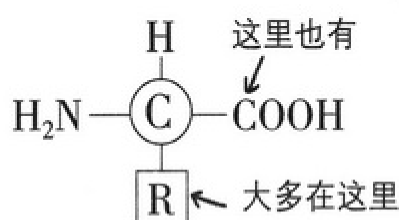
那么，根本君，你来给他说说碳的相关知识。



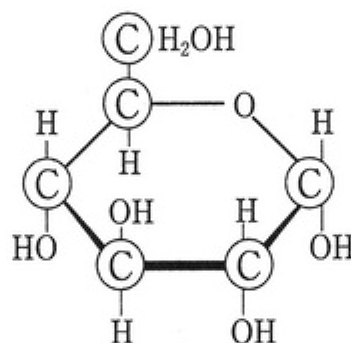
好的。“碳”这个词与地球变暖有关，所以我们经常会听到。它的元素符号是“C”。

碳对于我们生物来说是最重要的元素之一。

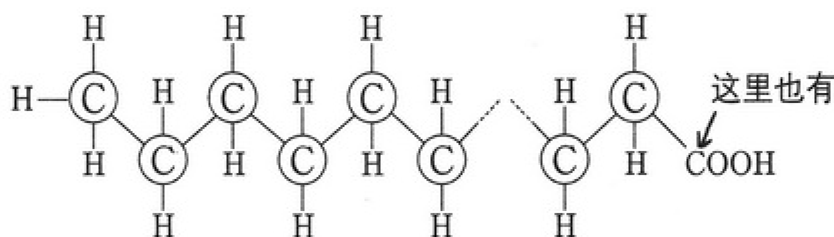
之所以这么说，是因为碳是位于构成蛋白质的材料——氨基酸中心的元素，是构成糖类、脂类骨架的元素，是“基因”的中心元素。



氨基酸



葡萄糖



脂肪酸



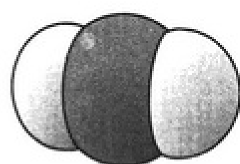
你看，在这些物质的中心都有碳吧？



嗯！如果没 C，好像就很难结合在一起了。
原来碳是如此重要啊！

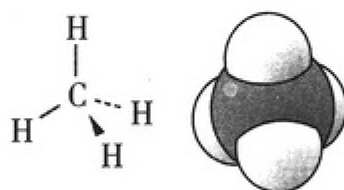


碳在生物体外时，与 2 个氧原子结合形成二氧化碳（CO_2），与 4 个氢原子结合形成甲烷（CH_4）。





二氧化碳



甲　烷



并且,碳长年被深埋在地下慢慢蓄积,有可能会形成“石油”或“煤炭”,还有可能会形成“钻石”。



石油！钻石！感觉就是个大富翁！好浪漫哦！



嗯，但是不要只顾着想浪漫的事。
碳如何循环是非常重要的。
总之，这种循环的平衡一旦被打破，地球上二氧化碳的浓度就会上升。



这是一个非常严峻的问题……



哎，心情变得沉重了，感觉好难哦……



啊！如果能把地球作为一个循环系统来理解，就能把自己的身体也当作一个循环系统来理解。这是追求美的女性的常识！



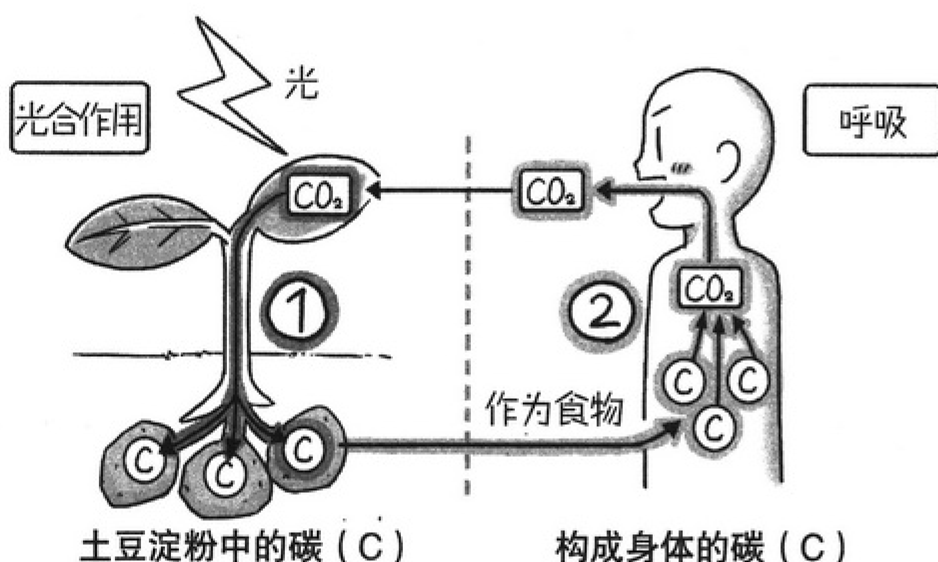
追求美……好，我又有精神了！



（黑坂老师真厉害，竟然能够将久美的热情激发出来）



请再看一下这个图。



请看左侧的①部分！

① 空气中的二氧化碳通过植物的光合作用被植物用作生成“糖类”物质的材料，这是碳的流动。

请看右侧的②部分！

② 糖类被生物利用后通过呼吸作用再度变为二氧化碳回到空气中，这也是碳的流动。

接着，我们将会学习这两个流程。

好，饭也吃完了，让我们打起精神继续下去吧！



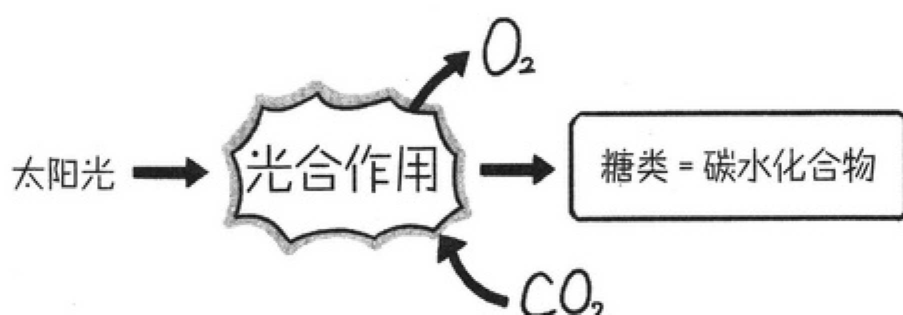
好的！

2. 一起来了解光合作用的结构体系

植物的重要性

位于生态系统的底层，给一切生物提供“粮食”的就是植物，其中以绿色植物的存在最为重要。

那是因为，绿色植物具有进行光合作用的组织结构，它能利用太阳光将二氧化碳转换成我们生物所需要的非常重要的营养糖类，也就是碳水化合物。



我们之所以将植物叫做“生产者”就是这个原因。与此相对,我们动物被称作“消费者”。

光合作用的重要性不仅仅是能够生成糖类。

以二氧化碳为原料进行光合作用，可以使空气中的二氧化碳的浓度保持在一定水平，并且作为光合作用的副产物，可以生成我们平时必需的“氧气”。这些对我们生物来说，都具有非常重要的意义。

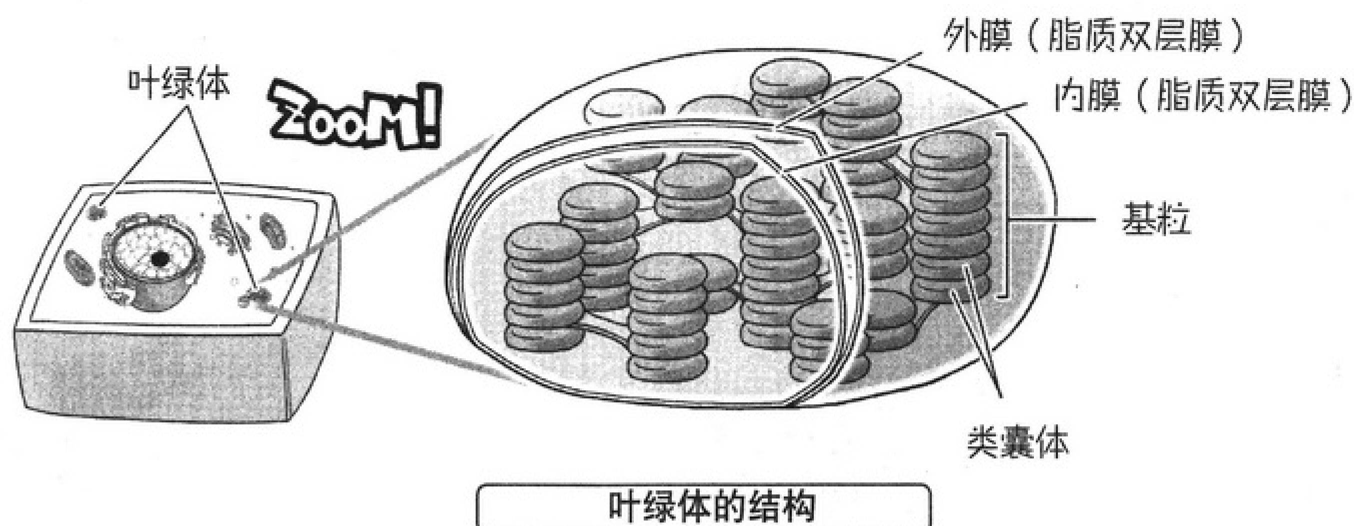


因此人类破坏森林的这种行为是在减少我们生存必不可少的氧气，在减少为我们动物制造营养物质糖类的“生产者”。这种行为无异于是在自取灭亡。

那么，让我们一起来学习植物是如何利用太阳光制造糖类的！

叶绿体的结构

我们从微型机器人中得到的图像是植物细胞中的绿色粒子状物质，这就是“叶绿体”。

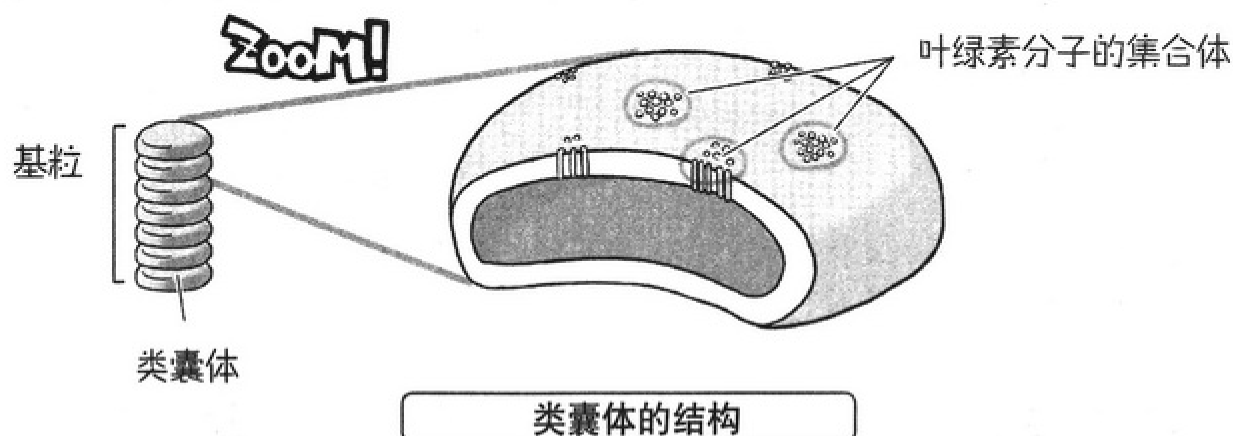


叶绿体的结构

我们知道在叶绿体的内部有一些扁平袋状的物质互相重叠堆积在一起，形成了一些奇怪的结构。我们将这些扁平袋状的物质叫做“类囊体（thylakoid）”，将这些扁平袋状的物质堆积在一起形成的柱形物叫做“基粒”。

类囊体膜与细胞膜一样，也是由以磷脂分子为主要成分的双层膜构成。

下面，请看类囊体膜的表面。



类囊体的结构

你们能够看到一些细小的颗粒聚集在一起构成的集合体吧？这一个一个细小的颗粒就是“叶绿素”分子和蛋白质的复合体，有一半镶嵌在类囊体膜中。

这些叶绿素分子是吸收太阳光的。但是，它不吸收太阳光中的绿色光，而是反射或穿透绿色光线，因此我们眼中所看到的植物是绿色的。

光合作用的结构体系——光合磷酸化反应

好的！

正好有长凳，太好了。

我们就在屋外上课吧！

嗯，不用回研究室了吗？

啊！我们马上要学习植物的光合作用了。

与其在研究室里面关着，还不如在蓝天下学习，不是更好吗？

确实如此！

好啊！我已经知道什么是光合作用啦！人类不能进行光合作用，只有植物才能进行光合作用。

就是利用太阳光和二氧化碳来生产氧气和糖类，对不对？

光合作用

糖类＝碳水化合物

O_2

没错！就是那样！

那么如何才能通过太阳光产生氧气和糖类呢？你知道光合作用的结构体系吗？

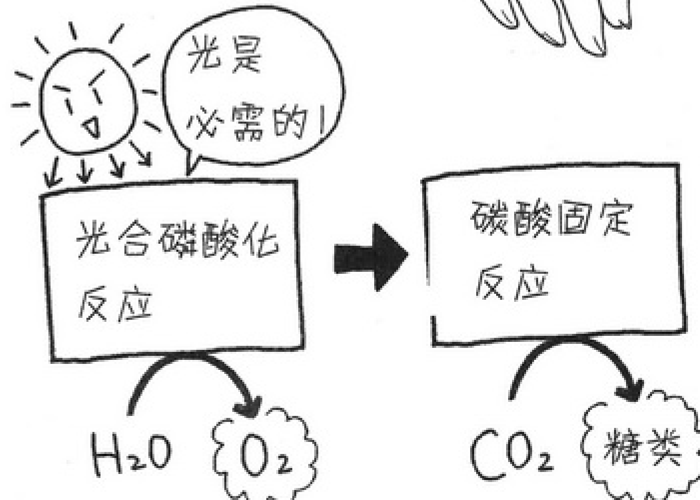
咣！

在光合作用的过程中有两个重要的化学反应，分别是光合磷酸化反应和碳酸固定反应。

唰唰

利用太阳光产生能量的反应是“光合磷酸化反应”，

利用能量合成糖类的反应是“碳酸固定反应”。



首先让我们来学习光合磷酸化反应。

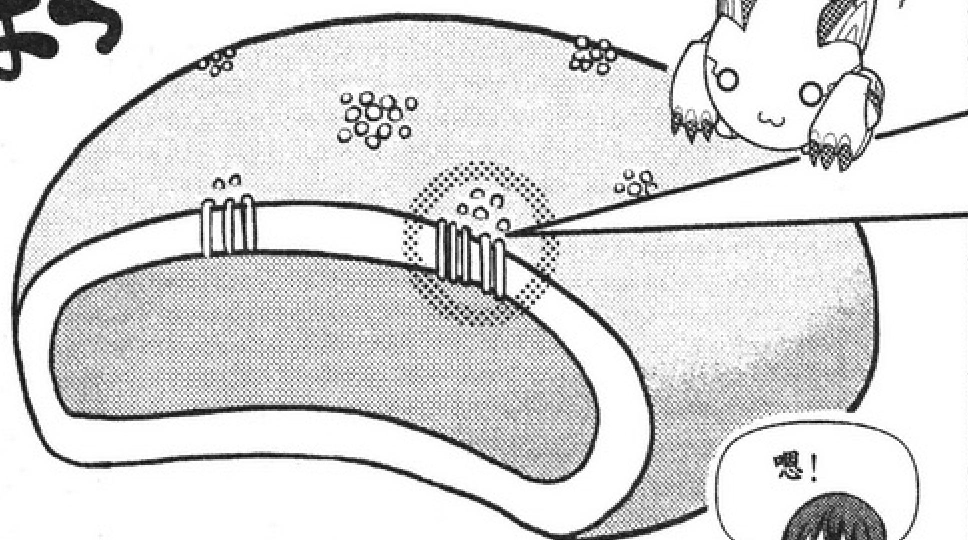
我们来确认一下光合磷酸化反应是在叶绿体的什么地方进行的。



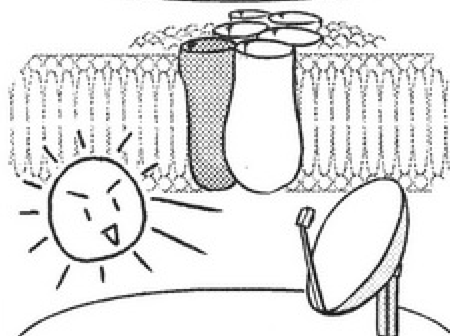
通过微型机器人来观察一下植物的内部结构!

这是从上面观察叶绿体中的“类囊体”时所看到的图像。

能看到一些颗粒状的集合体吗?

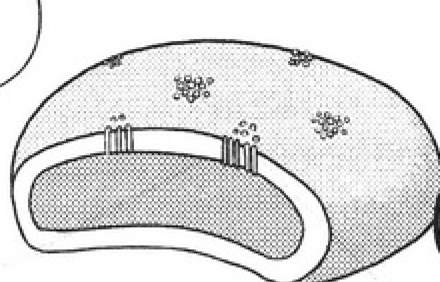


这一粒一粒的颗粒状物质就是叶绿素－蛋白质复合体。

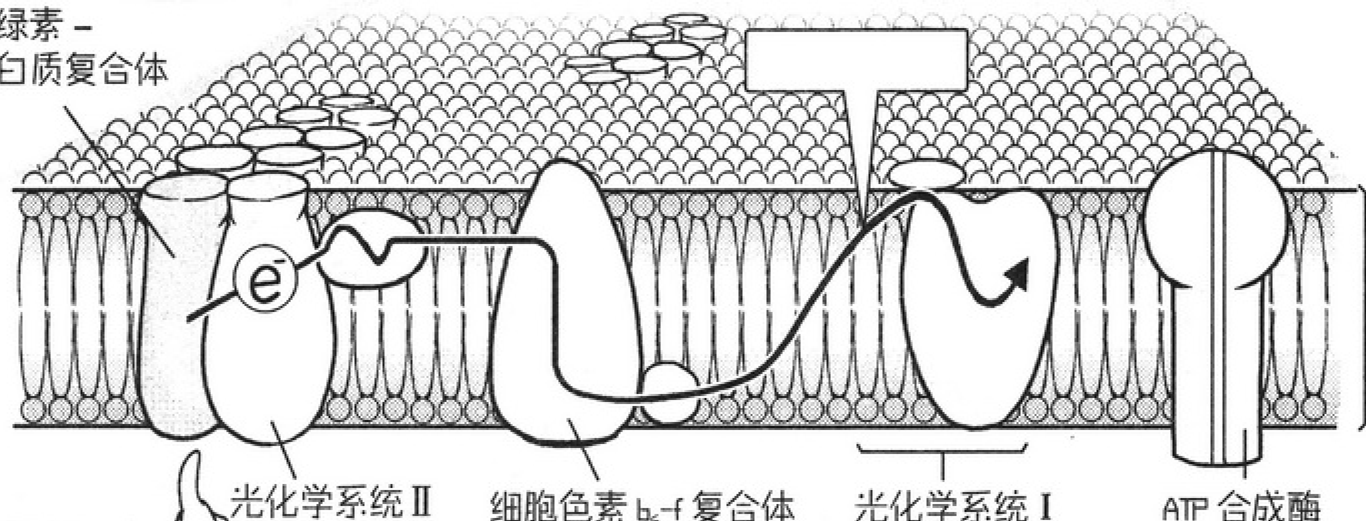


这里面包含着几十个叶绿素分子，它能够像抛物面天线那样吸收太阳光。


我试着将镜头对准类囊体膜。




ZOOM!


叶绿素－蛋白质复合体
e⁻
类囊体的双层膜
光化学系统Ⅱ
细胞色素 b6-f 复合体
光化学系统Ⅰ
ATP 合成酶


叶绿素－蛋白质复合体的一半都镶嵌在类囊体膜中。


真的哦！欸？但是，还有一些形状奇怪的其他物质。


这样的……


那些具有奇怪形状的物质的集合叫做“电子传递链”，它是由各种蛋白质聚集而成的蛋白质复合体。
它具有非常重要的作用。


欸？不是在讲植物的光合作用吗？怎么突然又变成了电子？我越来越糊涂了……

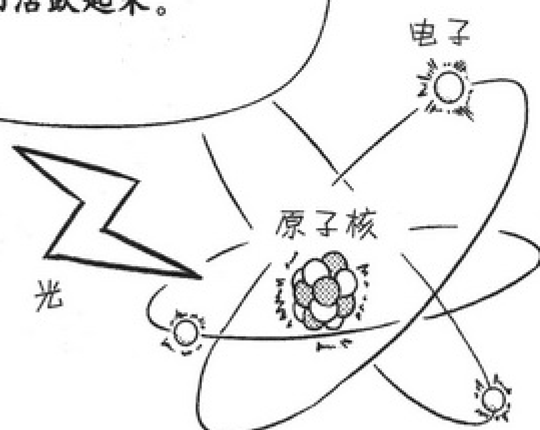
原子中心有“原子核”，在原子核的外侧围绕着“电子”。

一切物质都是由“原子”构成的。

哦！！

我来详细说明一下吧！

太阳光一照射到“叶绿素”上，叶绿素分子就会因为光能而活跃起来。



于是，其中被称为“电子”的微小粒子就会逸出。

※ 实际上电子逸出是由“反应中心叶绿素”分子产生的，位于周围的“天线”类似于“增幅装置”，是为其增幅的。

逸出的电子会被交接给其他的蛋白质复合体。

别的蛋白质复合体也位于叶绿素的附近，镶嵌在类囊体膜中。



就是刚才具有奇怪形状的集合吧？

啊！我终于明白了！因为电子被交接，所以叫做“电子传递链”。

嗯！

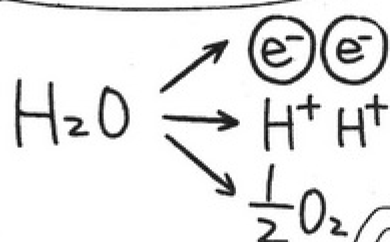
啪

啪

因为水分解后电子会得到补充，并且产生氧气。

嗯！

那么说，如果没有水，植物就不能进行光合作用了。



在电子传递链阶段，会按照一定的顺序不断地传递电子。

在此期间会合成出“NADPH”分子，并且最后会合成出 ATP。

ATP

ATP 之前出现过。NADPH 我是第一次听说。

ATP

NADPH

NADPH 是电子和质子（氢离子）与 NADP+ 这种名叫“递氢体”的分子结合而成的，它是在 NADPH 还原酶的作用下生成的。

电子

质子

e

NADPH

我来保管！！

我们可以称它为之后的碳酸固定反应中所需的电子和质子的“临时仓库”。

一般我们使用的电是“电子流”，在意义上这与我们所使用的电子产品是一样的。

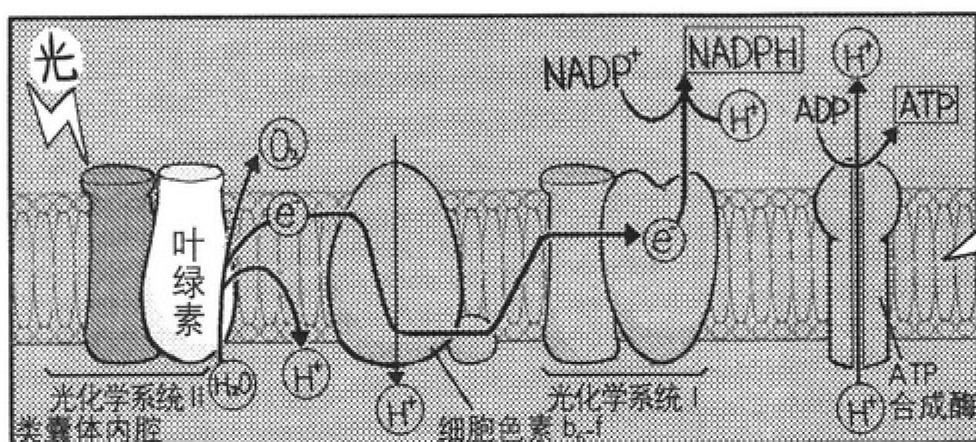
今天早晨的老师

电子传递链也是不断地传递电子形成“电子流”，并以此来合成 ATP 等。

那么让我们来看一下通过光合磷酸化反应合成 ATP 的过程。

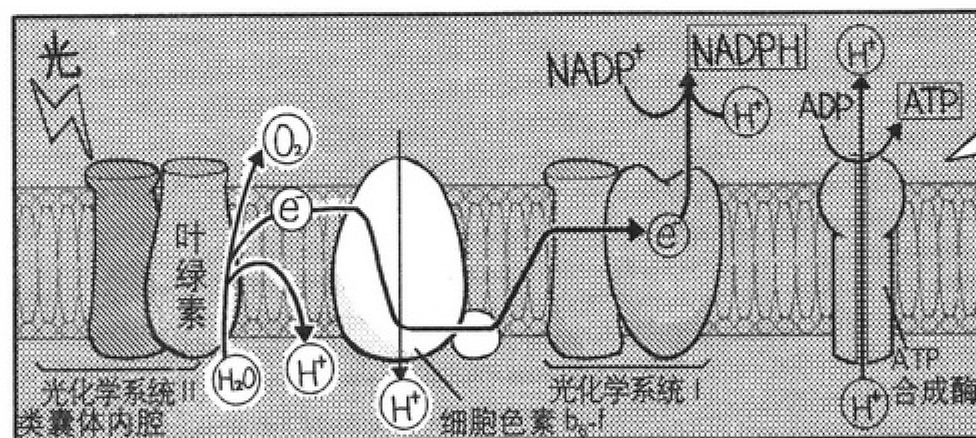
唰

※ 也就是说 NADP+ 被还原，就能生成 NADPH。（关于还原，请参考 P37）



STEP 1（光化学系统 II）

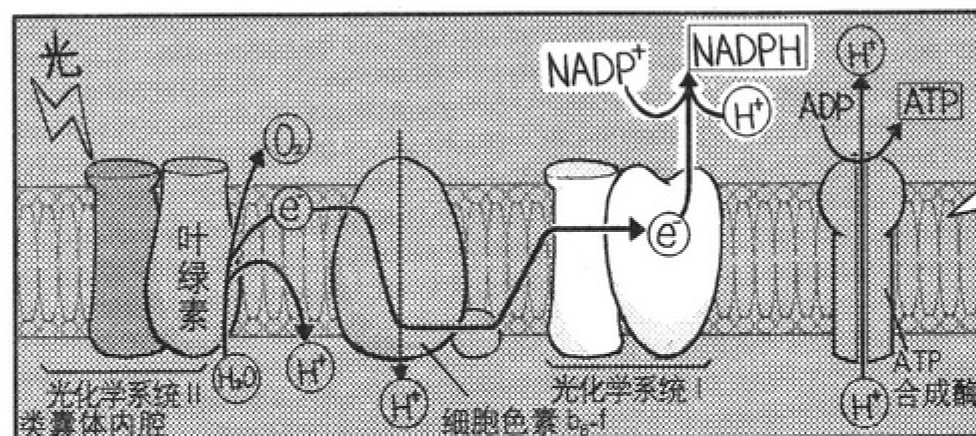
太阳光照射在叶绿素上。



STEP 2

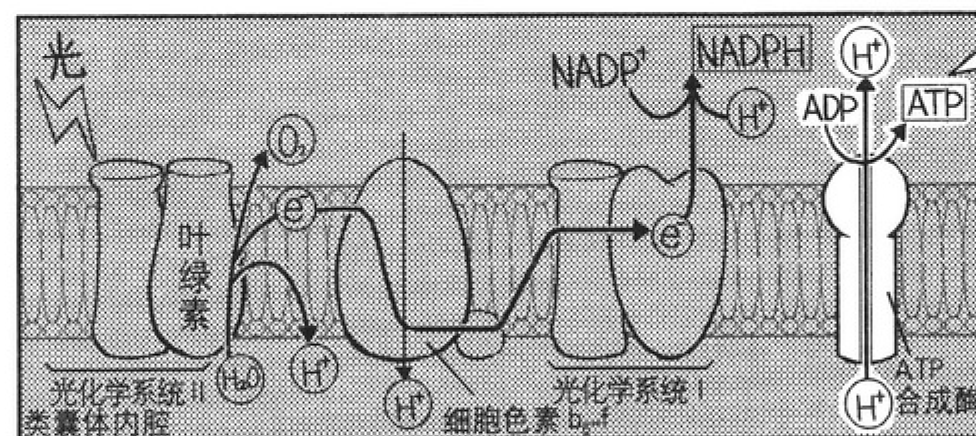
因为光能被激活，放出电子 e^-，电子被传递出去。与此同时，质子 H^+ 不断地积蓄在类囊体内腔中。





STEP 3（光化学系统 I）

e^- 和质子被交与 $NADP^+$，生成 NADPH。



STEP4

蓄积在类囊体内腔中的质子 H^+ 因为浓度梯度※向类囊体外流出时，会从 ATP 合成酶中通过。

这时，ADP 被合成 ATP。

※ 是指物质从浓度高的一方自然流向浓度低的一方的能力。

※ 在光学系统 I 中有叶绿素，在此它也能吸收光能，加强由光化学系统 II 传递过来而变弱的电子的活性。

哦，依次看下来，我就明白了！

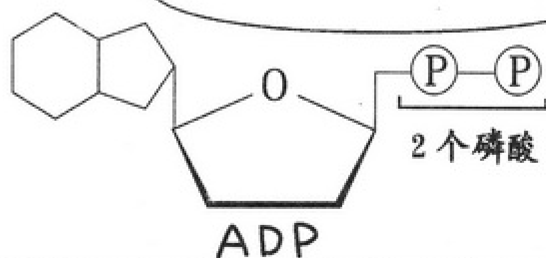
确实是因为电子流才生成了 NADPH 和 ATP。



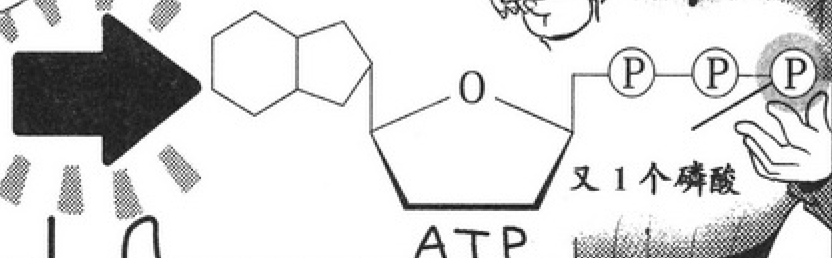
这里重要的就是生成 ATP 的“磷酸化”反应。

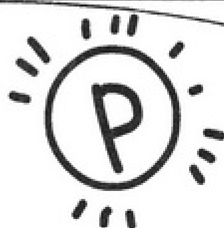
磷酸化？
这是什么反应？

这是 ADP（腺苷二磷酸）的结构。



拥有两个磷酸的 ADP 再与一个磷酸结合，就会生成 ATP（三磷酸腺苷）。





我们将这个添加新磷酸的反应叫做“磷酸化”。

原来是这样！
光合磷酸化反应这个名字也是由此产生的吧？

特别是 ATP，它是除光合作用以外，其他各种化学反应也会用到的“共同货币”。也就是说，它是一种非常重要的“化学能量”。

总结一下光合磷酸化反应，就是这样。

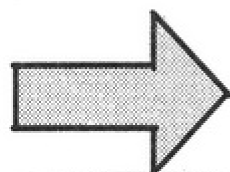
利用光将 ADP“磷酸化”
生成 ATP 的反应！

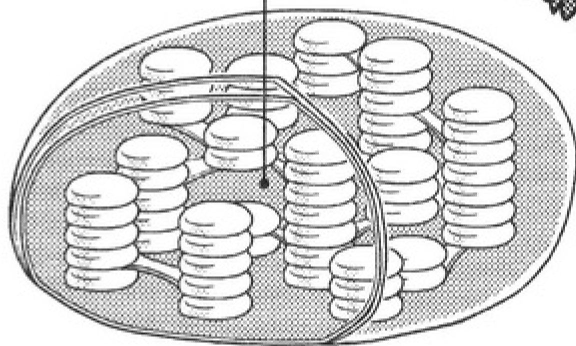
嗯，因为太阳光产生了电子流，从而使 ATP 被合成出来。

哦！
光能转换成了化学能啊！

光合作用的结构体系——碳酸固定反应







碳酸固定反应是利用 ATP 中所积蓄的化学能，

以空气中的二氧化碳（CO_2）为材料合成糖类（葡萄糖等）的反应。



该反应是以我们动物和植物自身吐出的二氧化碳为材料，

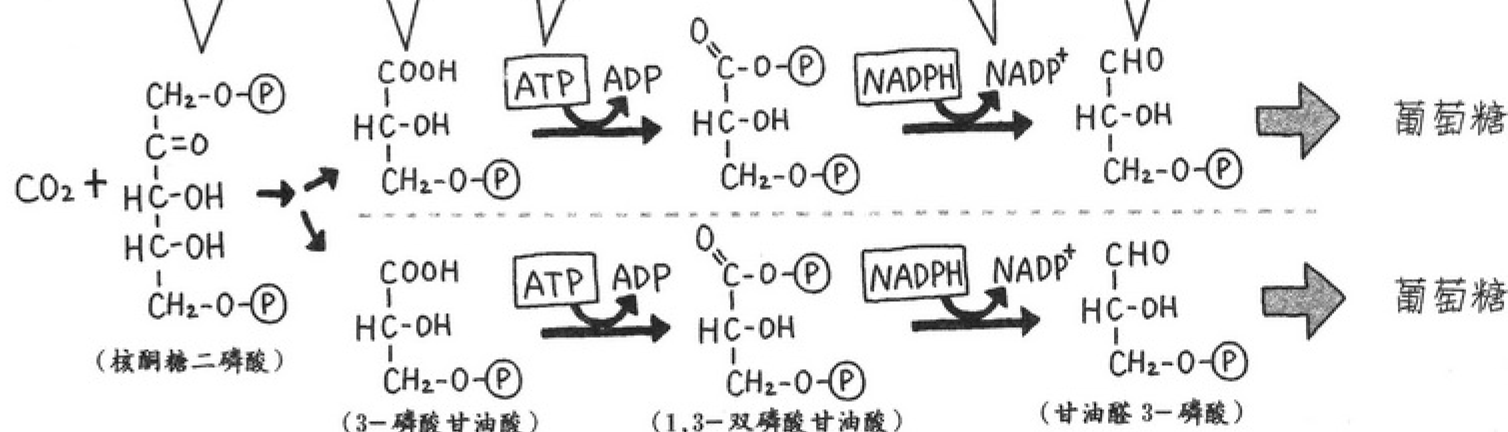
并且还需要在光合磷酸化反应所产生的化学能啊。



首先 CO_2 连接到核酮糖二磷酸（ribulose diphosphate）分子上，形成两份完全相同的各含 3 个碳原子的“3－磷酸甘油酸（3−phosphoglycerate）”分子。

生成的 3－磷酸甘油酸在 ATP 中的化学能和 NADPH 的还原能力的作用下，将会形成 2 个“甘油醛 3－磷酸（glyceraldehyde 3−phosphate、G3P）”分子。

并且生成的“甘油醛 3－磷酸”分子将被用于制造葡萄糖等。



与二氧化碳结合

利用化学能

最初是利用二氧化碳，接着利用了化学能！

但是，最终形成的葡萄糖到底是什么？

久美，你要好好加油哦！

葡萄糖是“糖类”中最基本的物质[※1]！

太长了！我好像有点累了……

啊！

我想起来了！！
像大米、面条、土豆都是由这些复杂的结构体系所产生的。

对！
植物就是把很多葡萄糖像串珠项链一样连接起来，然后将它们合成“淀粉”储藏起来，或者是将它们转换成蔗糖（sucrose）和果糖等更甜的糖类物质储藏起来[※2]。

储藏这些物质的主要仓库就是植物果实！

像大米、小麦、土豆、水果等。

如果植物不进行光合作用，就不会有这些果实，

我们生物就会失去非常重要的营养物质。

ガーン

久美，你明白了植物和光合作用的重要性了吧？

今后我一定要怀着对植物的感激之情来吃东西。

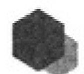
我觉得肚子又饿了！

※1 准确地说，在植物光合作用中生成的是葡萄糖 1−磷酸。

※2 植物利用自身能源时，就会利用蔗糖。

3. 呼吸的结构体系

什么是碳水化合物？



※ 如在第1章中所述，在本书中基本上都使用糖类这个词。

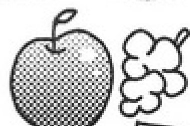
嗯，久美，你有这个疑问也是情理之中的。

唰唰

请看这个！
实际上，一句话我们都称糖类，但是糖类包含很多种。



砂糖＝蔗糖（sucrose）



果糖（fructose）



乳糖（lactose）



淀粉



哦……

这些分别都属于不同种类的糖类。
接着我们将详细讲解一下有关糖类的知识。

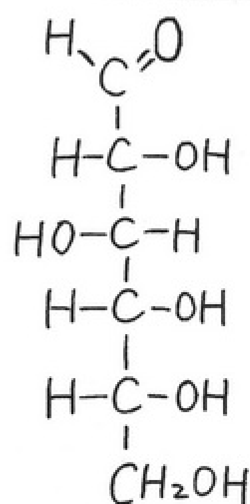
糖类

嗯！

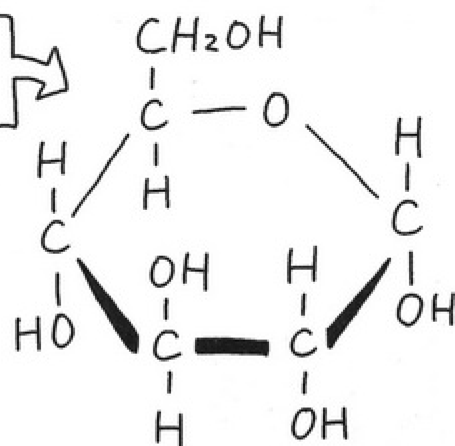
作为我们能量的代表性糖类物质就是葡萄糖，其分子呈链状结构或环状结构。

图中的为“α-D-葡萄糖”。
环状结构中最右端的羟基和氢原子上下颠倒后结合而成的物质是“β-D-葡萄糖”。

链状结构

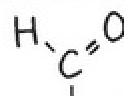


环状结构



看这边的链状结构，有6个碳原子（C）纵向排列，下面的5个碳原子分别与一个氢原子（H）和一个羟基（-OH）连接在一起，对吧？

并且最上面的碳原子组合成了醛基的形状



你们看明白了吗？
这就是糖类物质分子结构的基本形状之一※。

※关于糖类物质分子结构的基本形状，请参照 P24

因为羟基（—OH）具有亲水性，所以糖具有易溶于水的性质。

-OH

溶解了！

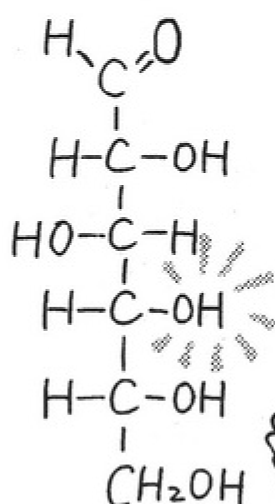
H_2O

此时，连接在其中的 4 个碳原子上的羟基（—OH）是位于左边还是位于右边，实际上很重要。

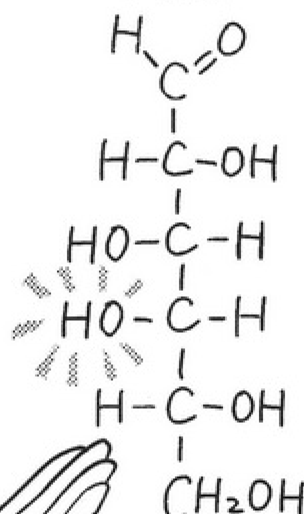
C-OH

欸？

葡萄糖



半乳糖



比如，我们把连接在第 4 个碳原子上的 —OH 移到它的左边的话，

就不是葡萄糖了，而变成了另外一种糖类物质半乳糖（galactose）。

换了一下左右的位置，就变成了另外的物质。这太不可思议了！

哇～

实际上在生物体中，环状结构的糖类物质要多于链状结构的糖类物质。

实际上，环状结构的葡萄糖



也比链状结构的葡萄糖多。

咦～

SUGAR

糖类的英文名称中多含有“ose”

我来给大家说明一下像葡萄糖、半乳糖之类的糖类物质。这些糖类物质的英文名称都有一定的规律，其名称结尾通常都带有“ose”这样的英文。

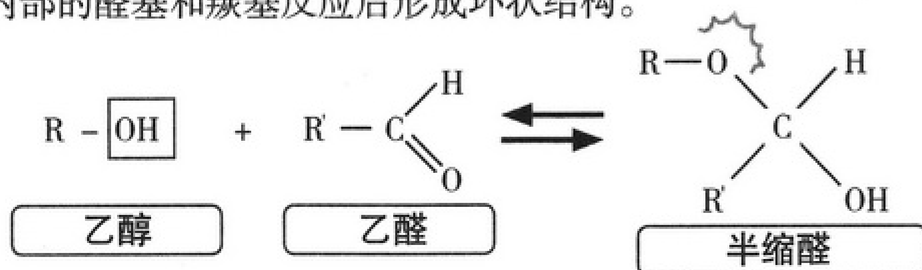
葡萄糖是生产能量的基本糖类,血糖值中的“糖”就是指葡萄糖。大家经常吃的砂糖，其专业术语叫做蔗糖（sucrose），其英文名称也是“ose”这种形式。母乳和牛奶中包含着“乳糖”这种糖类,其英文名称为“lactose”。水果中所包含的果糖叫做“fructose”。总之，在自然界中存在着各种各样的糖类物质，但是它们的结构都不同。比如蔗糖和乳糖、葡萄糖和半乳糖、果糖的结构都是不一样的。并且，大家经常食用的大米和薯类中所含的“淀粉”是由“直链淀粉（amylose）”和“支链淀粉（amylopectin）”组成的。

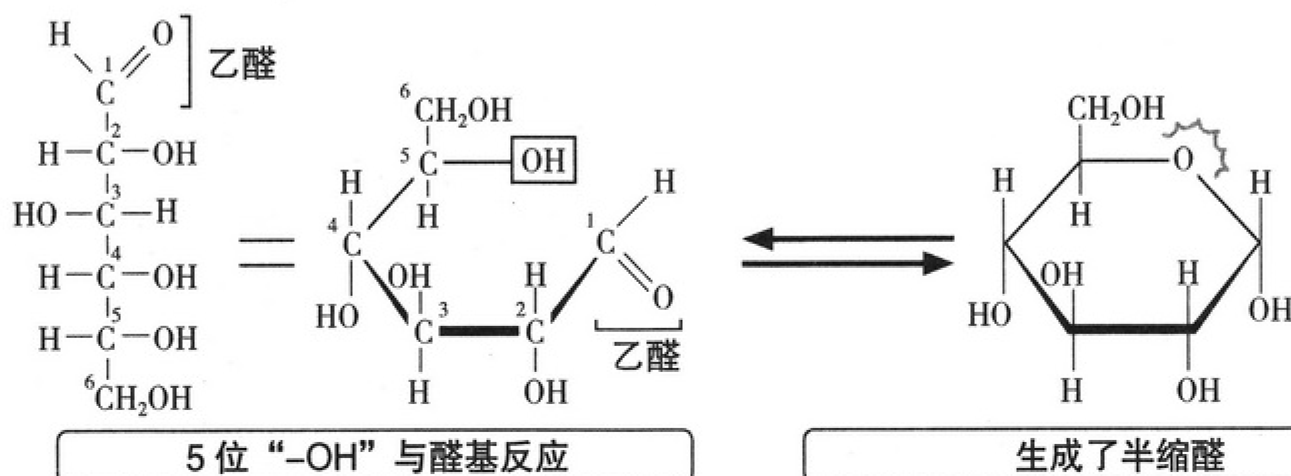
关于这些物质的结构，我将在第 3 章做详细说明。

为什么单糖会呈环状结构?

为什么在单糖中，环状结构的单糖要多于链状结构的单糖?其奥妙在于与分子内部的碳原子相连接的“−OH”上。

在此我将以乙醇为例来说明一下（并不是因为黑坂老师能喝酒）。乙醇实际上都是以“R−OH”（R 是多种多样的）这一形式来表示的。乙醇与醛基和羰基相结合，可以生成“半缩醛（hemiacetal）”这种物质。因此，单糖中的“−OH”也具有这样的性质，当它与分子内部的醛基和羰基反应后形成环状结构。



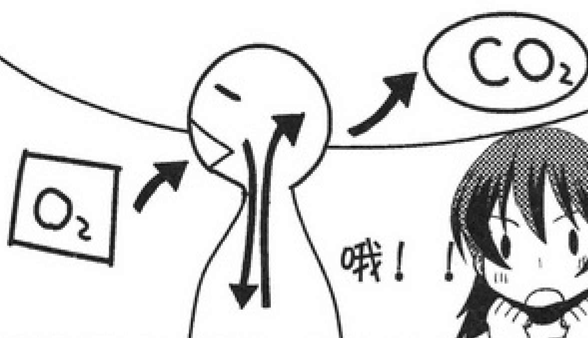


为什么我们必须呼吸？

为什么我们必须呼吸呢？根本君你来回答！

我们任何时候都需要呼吸，然而……

好的。那是因为我们必须将空气中的氧气吸进体内并排出二氧化碳。



哦！！

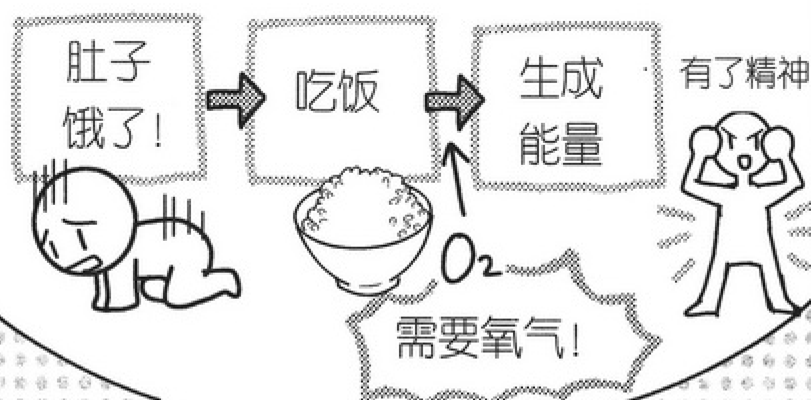
对。那么，为什么我们必须吸进氧气呢？这是因为要合成细胞活动所需的能量……



也就是说要使葡萄糖分解并从中提取能量，氧气是必需的。

哦～

简单地说，吃饭后要将饭消耗掉并使之转换成能量，就必须要用氧气。



我们吸入氧气排出二氧化碳就是“呼吸”，但是……

细胞吸收氧气分解葡萄糖生产能量并排出二氧化碳的反应也叫“呼吸”。

就没有能量？

没有氧气
没有葡萄糖

啊？都是呼吸？我脑子又有点混乱了……

嗯！因此为了将它们区分开来，就将我们所进行的呼吸叫做“外呼吸”，细胞所进行的呼吸叫做“内呼吸”。



那么，请你们记住：之后我们提到的“呼吸”都是指“内呼吸”。

请看我！

我们现在并不是在学习我们日常所进行的呼吸，而是学习有关细胞所进行的呼吸。

吸气

呼气

呼吸就是分解葡萄糖并产生能量的过程



我们生物（也包含植物本身）就是把淀粉被消化后所形成的葡萄糖作为营养源，然后借助于我们吸入体内的氧气来生产能量。



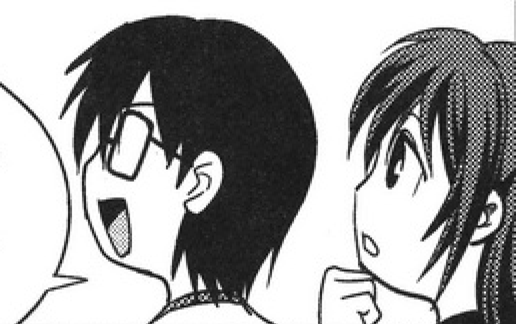
这个就叫做呼吸（内呼吸）。

呼吸作用也有化学反应式，在此我来给大家说明一下！





嗯……
我明白了，通过呼吸作用，葡萄糖和氧气被消耗掉，从而生成了二氧化碳、水和能量。



那么，让我们来依次看一下这个反应的详细过程。

首先我们应该记住呼吸包含3个阶段。



这就是以下3个重要的关键步骤。

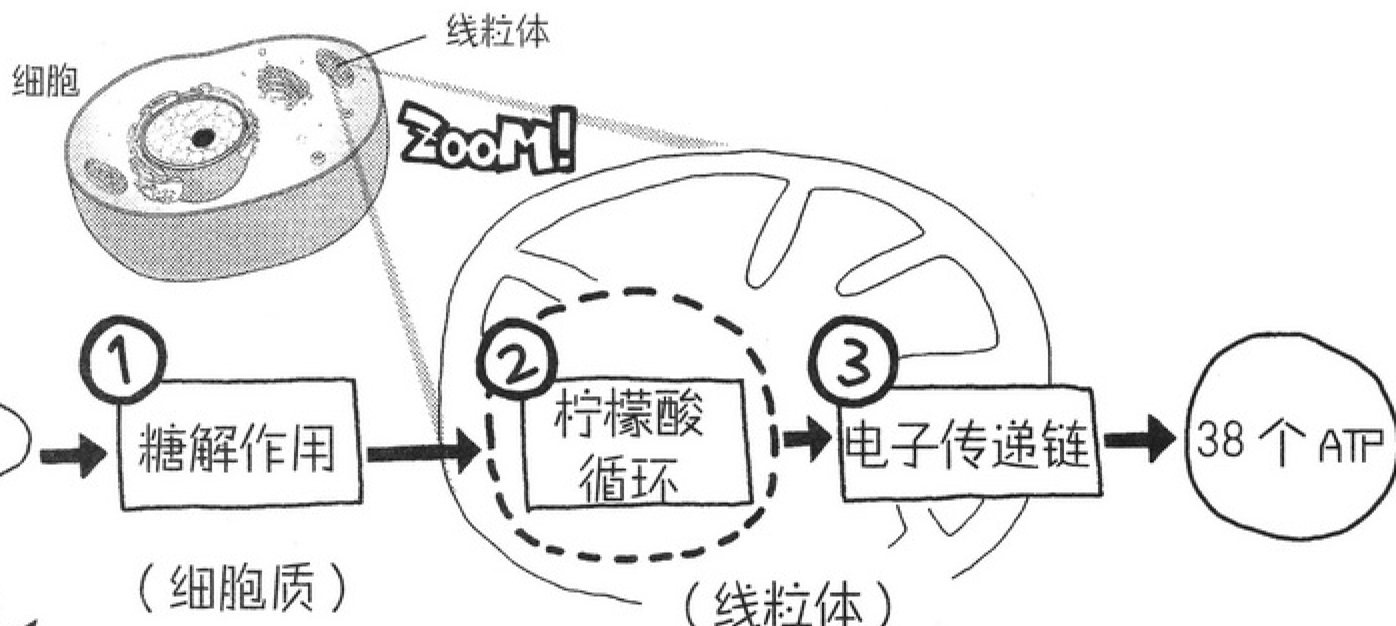
① 糖解作用

② 柠檬酸循环※

③ 电子传递链



※ 根据发现者的名字又被称作“克雷伯氏（Krebs）循环”，也被称作“TCA 循环（tricarboxylic acid cycle）”。



Point

①糖解作用是在细胞质中所进行的反应。
②柠檬酸循环和③电子传递链是在线粒体中进行的反应。
经过这个过程，1 个葡萄糖会生成 38 个 ATP。

啊……
看起来好难啊……

那么，这样写怎么样？

看！



这样的话，似乎感觉容易理解些了

哈

但是，“NADH”“$FADH_2$”是什么？这是我第一次听说。这个与光合作用中出现过的 NADPH 有关吗？

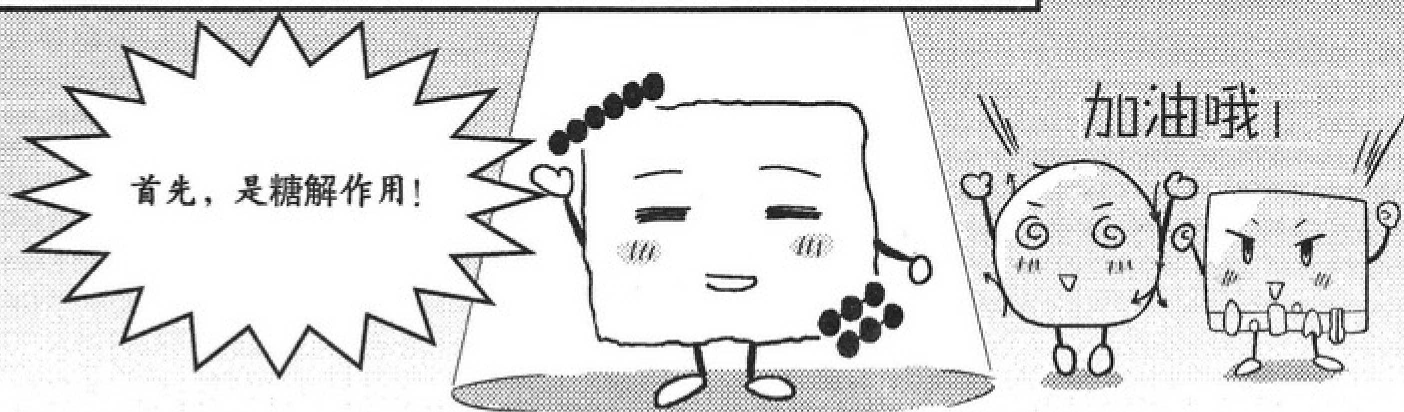
丙酮酸

NADH

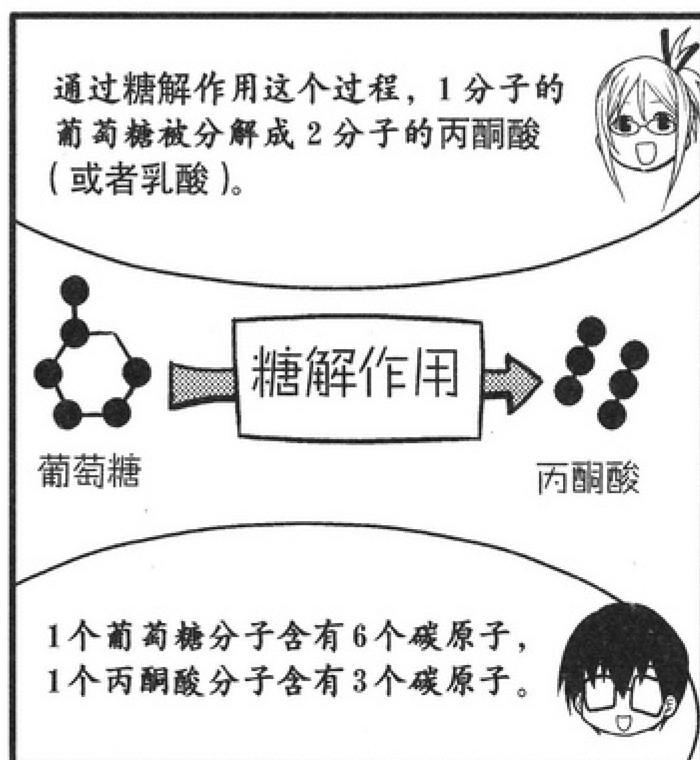
$FADH_2$

这两种物质的流动非常重要哦。
那么，我们一个一个地往下看。

关键步骤①通过糖解作用分解葡萄糖





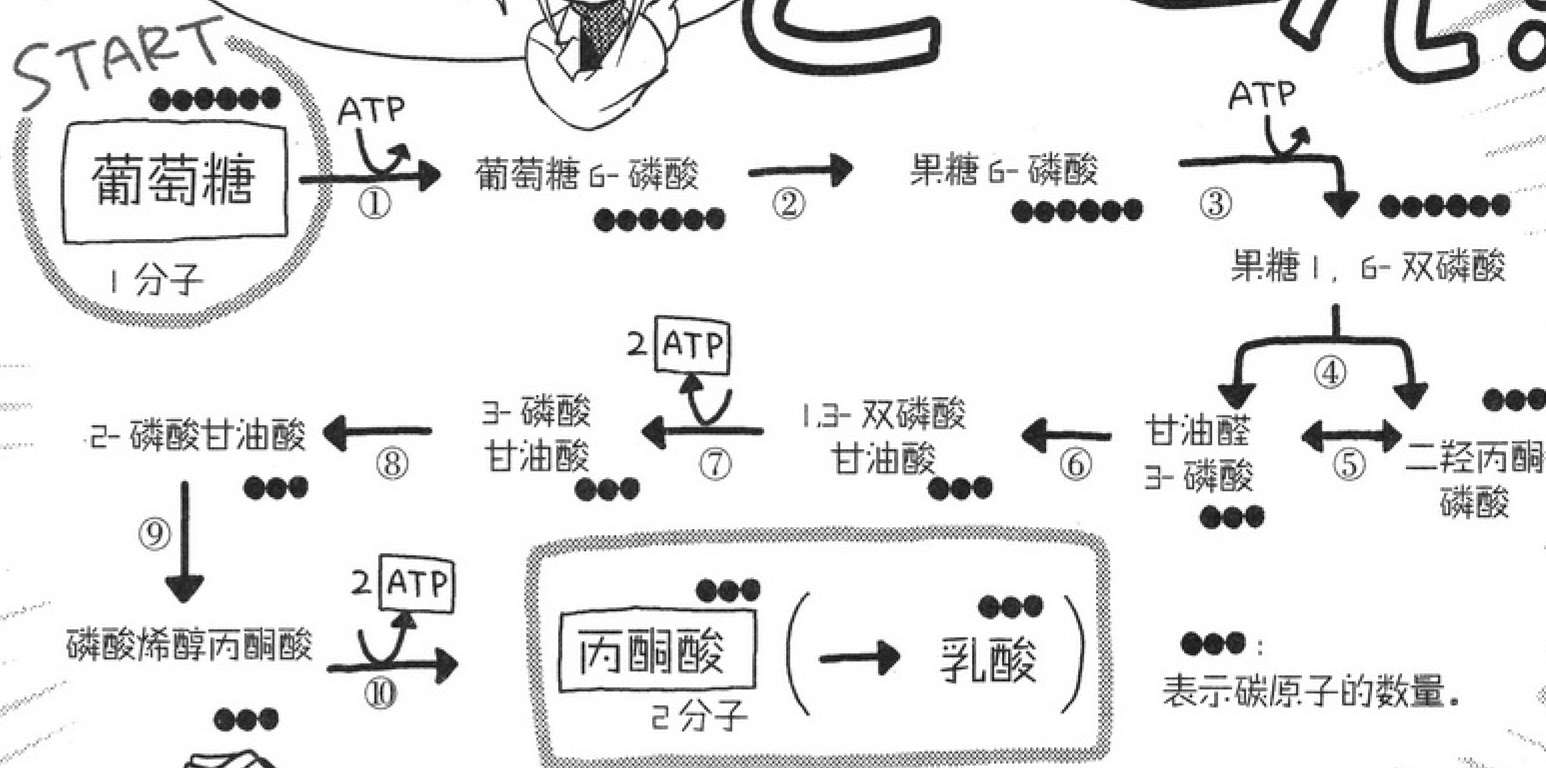





不，那个……
不是那样……


实际上在1个葡萄糖变成2个丙酮酸之前需要10次化学反应。
要生成乳酸，还需要再多1次化学反应。

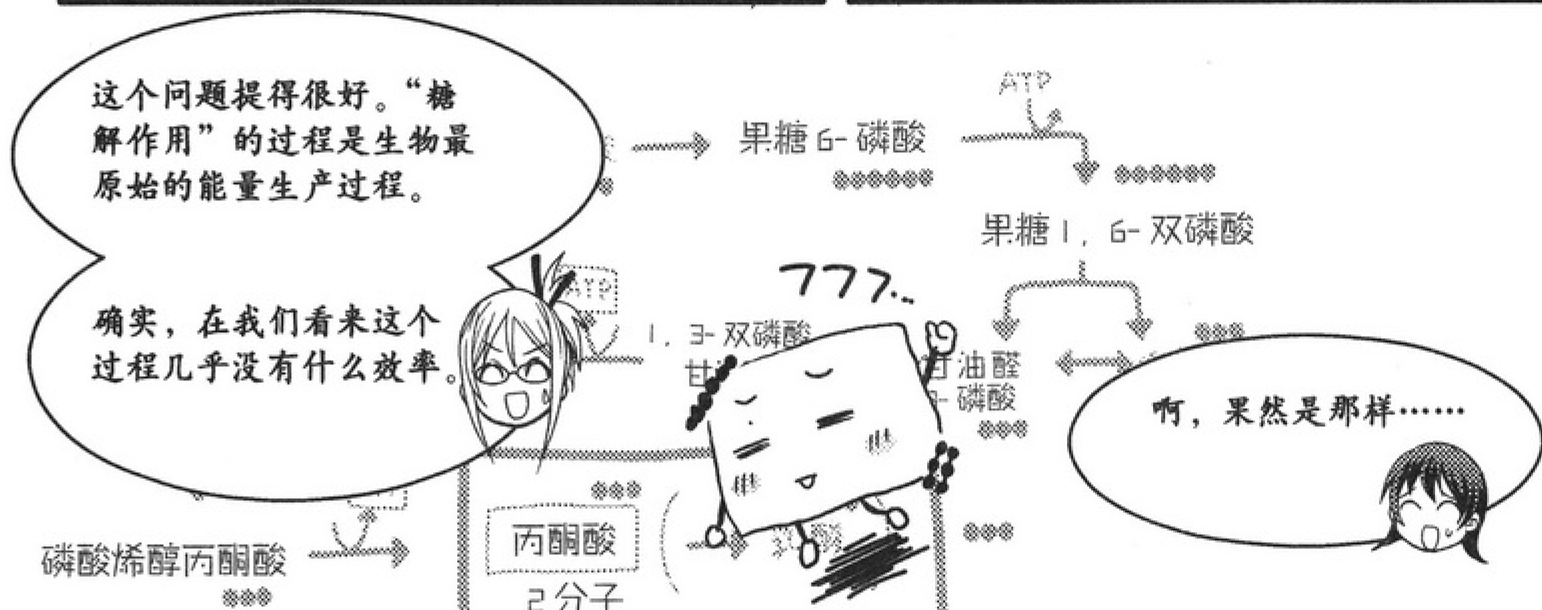

就是这样！
どーん！


START
葡萄糖
1分子
ATP
①
葡萄糖6-磷酸
②
果糖6-磷酸
ATP
③
果糖1，6-双磷酸
④
甘油醛3-磷酸
⑤
二羟丙酮磷酸
⑥
1,3-双磷酸甘油酸
2 ATP
⑦
3-磷酸甘油酸
⑧
2-磷酸甘油酸
⑨
磷酸烯醇丙酮酸
2 ATP
⑩
丙酮酸
2分子
乳酸
●●●：表示碳原子的数量。


うわー!!
什么？这么长！


确实是一个较长的过程。并且，在这个过程中有4个能量分子（ATP）生成，有2个ATP被消耗掉。
相减后，结果生成了2个ATP。











※ 所谓厌氧性生物是指不利用氧气也能产生能量的生物。

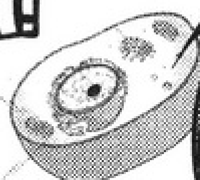
关键步骤②柠檬酸循环（TCA 循环）

第二个步骤是
柠檬酸循环！

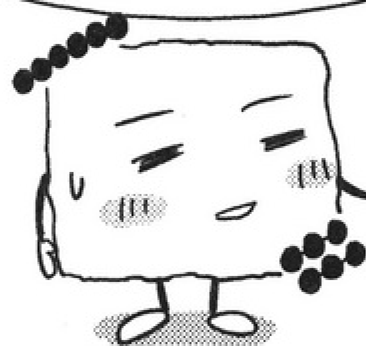


积极利用氧气产生 ATP 是细胞器
“线粒体”的重要功能。





在细胞质中分解葡萄糖所产生的
丙酮酸被吸收到了线粒体中……



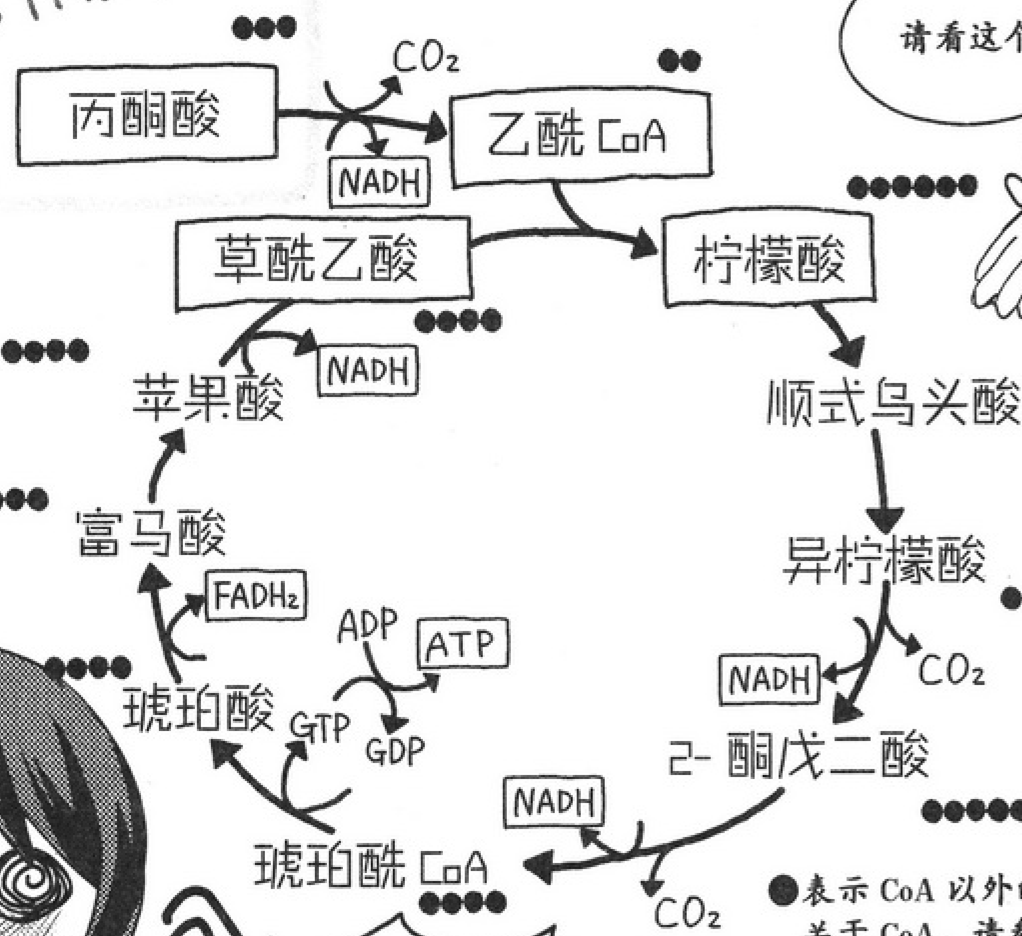


接着将被卷入“柠檬酸循环”
这一化学反应的漩涡中。

“化学反应的漩涡”到
底是什么？









●表示 CoA 以外的碳原子的数量。
关于 CoA，请参照 P86。







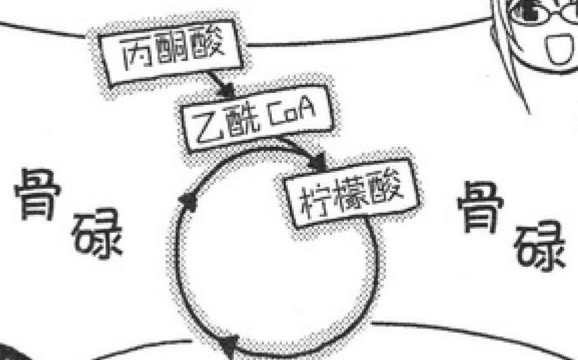
不必啦！
在柠檬酸循环中，重要的是

①丙酮酸生成乙酰 CoA
②从乙酰 CoA 开始循环一圈
③产生 1 分子 ATP
④产生 4 分子 NADH、1 分子 $FADH_2$※

有很多“某某酸”
的名字，可以不用记。

哦

正如你所见，丙酮酸在生成乙酰 CoA 后接着转变为柠檬酸，之后在线粒体中不断地变成各种物质，最后又生成了柠檬酸。



这些反应因为是循环着进行的，所以被叫做“循环”

※ 如果以 1 分子的葡萄糖来换算，可以生成 2 分子的丙酮酸，所以最终能生成 2 分子 ATP、8 分子 NADH、2 分子 $FADH_2$。

在这个循环中，新生成了 2 分子的 ATP。

另外还生成了其他重要物质。

那就是辅酶“NADH”、“$FADH_2$”

NADH

$FADH_2$

看！

同时，在光合作用中，利用了 NADPH 这种物质。

但是在呼吸作用中利用的是“NADH”。

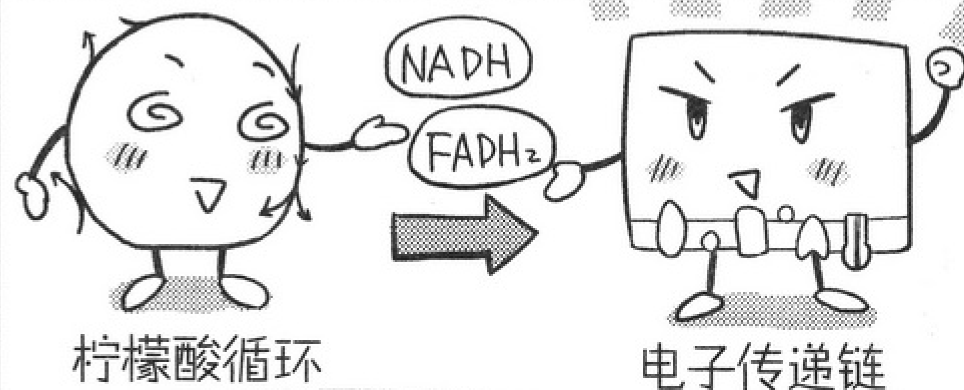
哇……

NADPH

NADH

这种物质在接下来的“电子传递链”这一步骤中将大量生产 ATP。

ATP



啊？辅酶“NADH”、“$FADH_2$”还要继续作用下去？

那么，辅酶“NADH”、“$FADH_2$”是如何生产出大量的 ATP 的？

那就是我接下来要讲解的内容！

关键步骤③通过电子传递链生产出大量能量

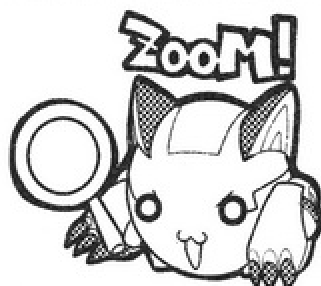
那么，我将要讲解第 3 个步骤电子传递链！

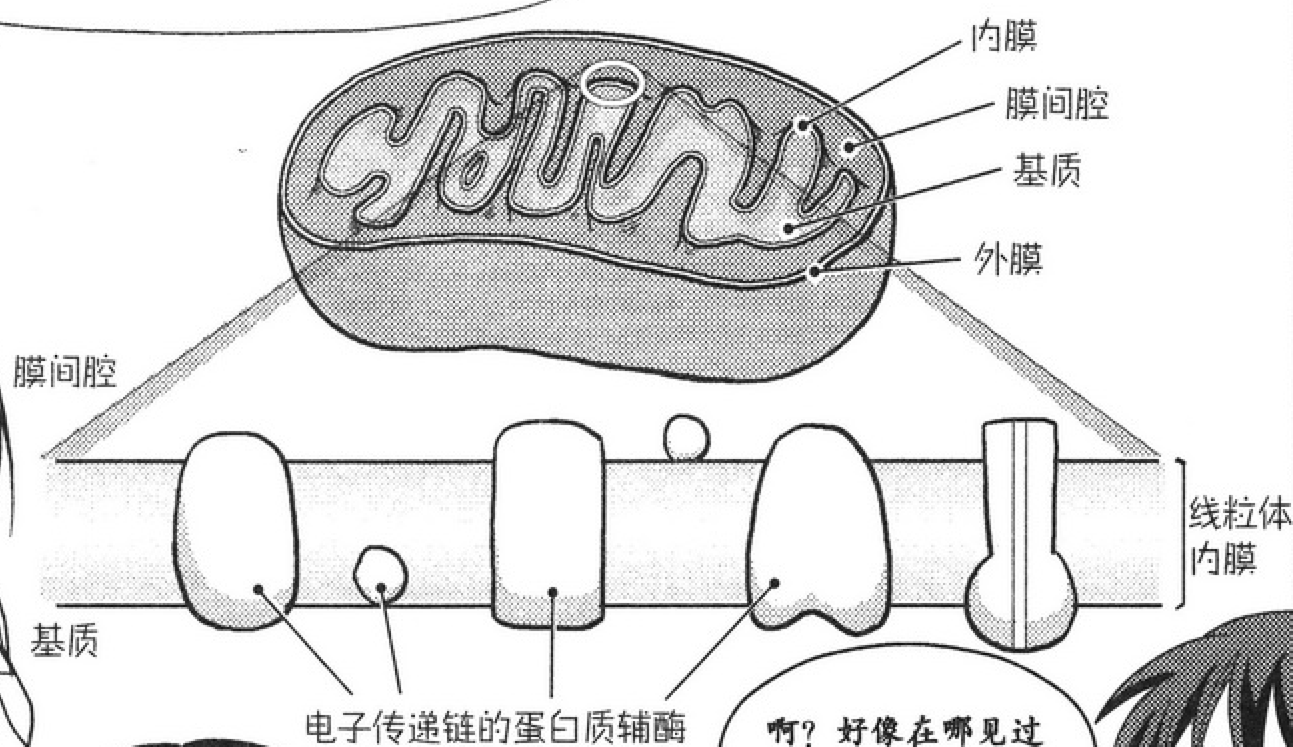
最后一个步骤，拜托你了！

交给我吧！

首先，我们将确认场所！

电子传递链就像散布的岛屿一样埋没在线粒体内膜中，它由好几个蛋白质复合体组成。





啊？好像在哪见过……

这些聚集在一起就构成了电子传递链。

啊，想起来了！光合作用！在讲光合作用的时候出现过电子传递链，对吧？

但是，光合作用时构成的蛋白质复合体的种类不同！

虽然同样是电子在流动，但是那些“奇怪形状的东西”都不一样，它们各自发挥着不同的作用。

光合作用的电子传递链

确实如此！形状确实不一样。

接着我要讲有关“NADH”、“$FADH_2$”的知识。

1分子丙酮酸可以生成4分子的“NADH”和1分子的“$FADH_2$”。

葡萄糖 → 丙酮酸 → 柠檬酸循环 → 4 NADH、$FADH_2$

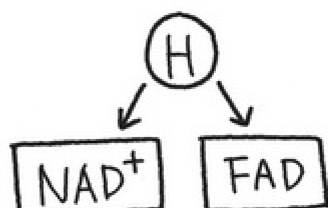
葡萄糖 → 丙酮酸 → 柠檬酸循环 → 4 NADH、$FADH_2$

如果以1分子葡萄糖来换算的话，单是在柠檬酸循环的反应过程中，就能生成8分子的“NADH”和2分子的“$FADH_2$”。

在柠檬酸循环的反应过程中，氢原子（H）被传递给 NAD^+ 或 FAD，从而生成 NADH 和 $FADH_2$。

因为氢原子由质子（H^+）和电子构成所以，可以说是“把质子和电子暂时贮存在 NAD^+ 和 FAD 中”※。

氢原子 = 质子 + 电子



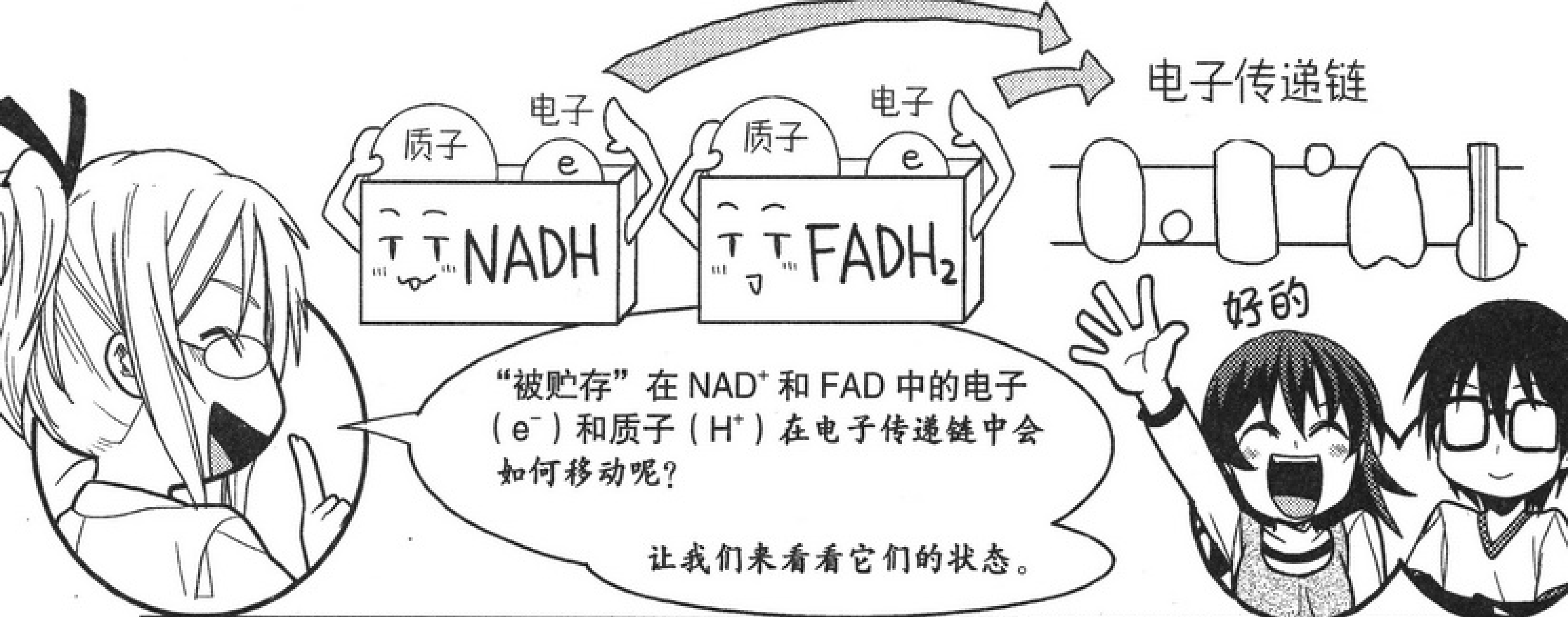


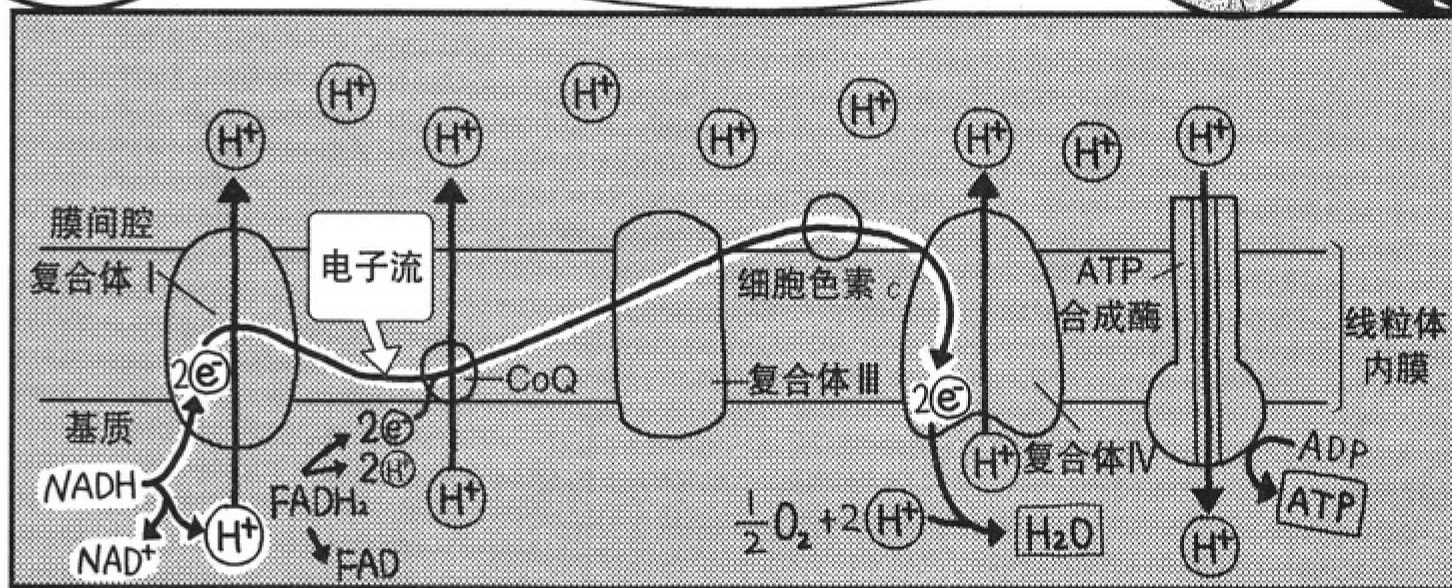
在光合作用时，NADPH 也贮存过质子和电子！

这些被贮存在 NAD^+ 和 FAD 中的质子和电子在电子传递链中将发挥威力哦！

ギラ

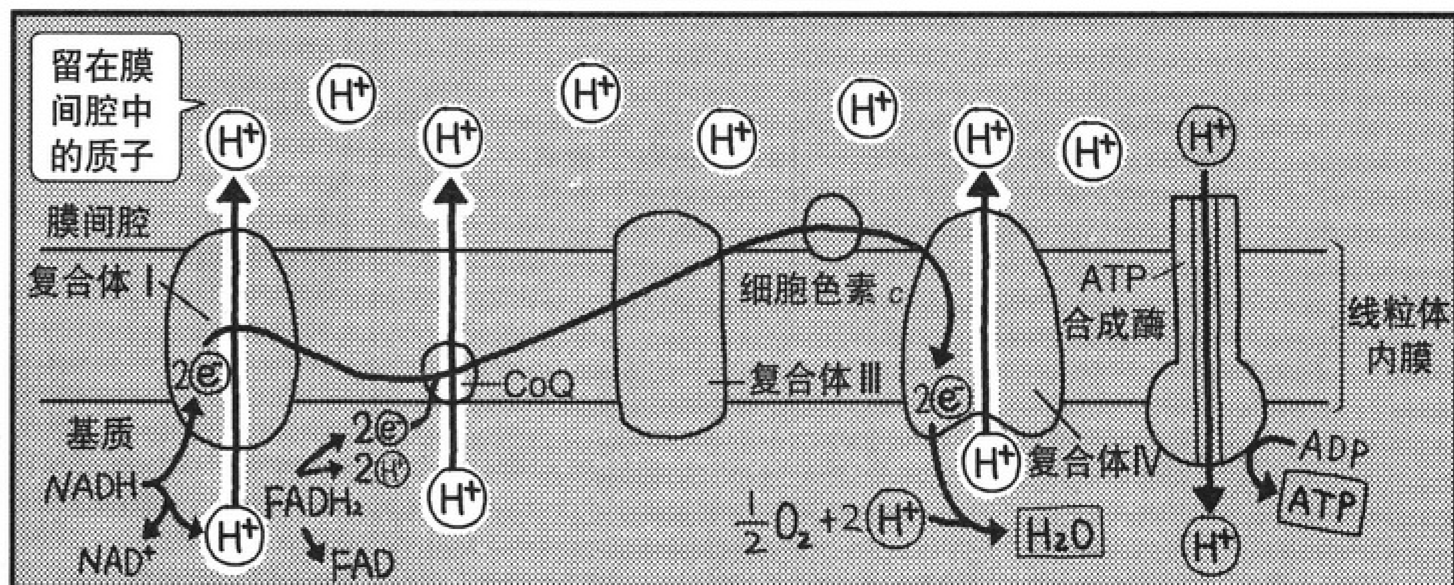
※ 也就是说 NAD^+、FAD 被还原后生成的物质是 NADH 和 $FADH_2$。（关于还原请参考 P37）







电子进入电子传递链中，在几个复合体和蛋白质之间不断地被传递。





在这些电子（e^-）不断地被传递时，电子传递链中的蛋白质也在发生各种变化。
结果，质子（H^+）从线粒体基质中移动到膜间腔（内膜和外膜之间的部分）内并留在那儿。
在 3 个地方存在着把质子泵入膜间腔的“泵”。

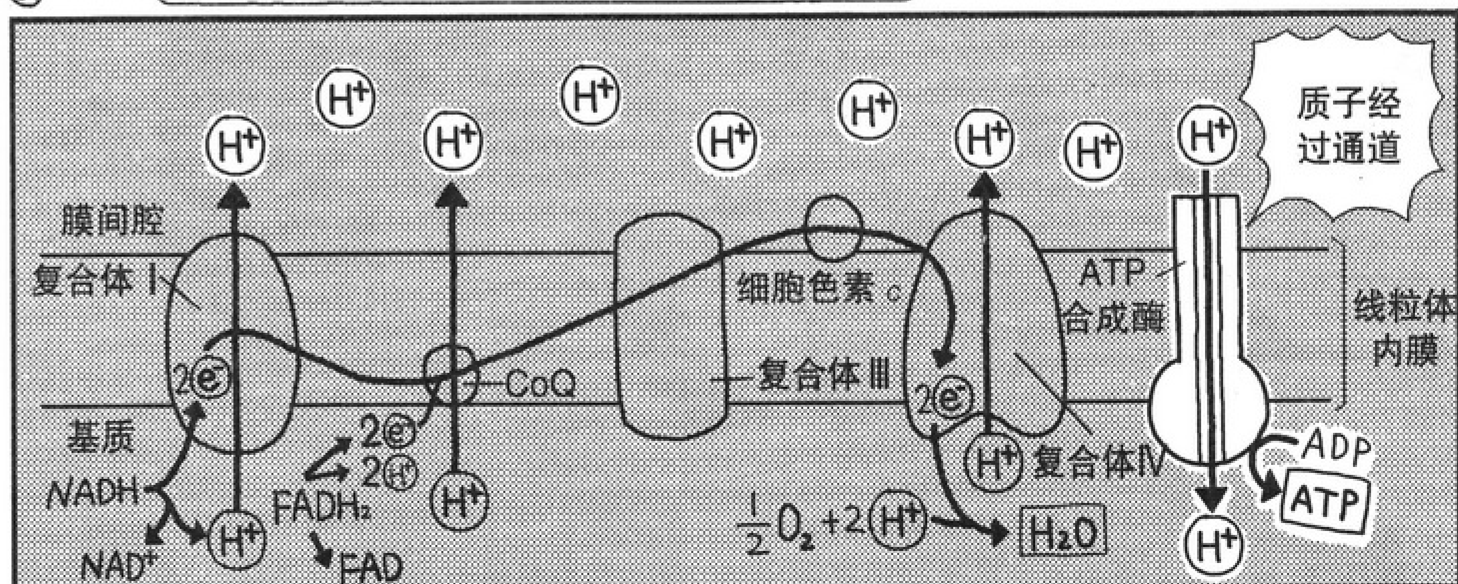




但是，那样的话在膜间腔和基质之间会形成浓度梯度。
也就是说，如果膜间腔的质子浓度高于基质中的质子浓度，就会产生一种“无言的压力”，即质子（H^+）会向基质侧流动。

浓度梯度是指高浓度侧向低浓度侧自然流动的力。







在电子传递链中存在着质子由膜间腔侧向基质侧移动的“通道”。

那么，大家都去那儿吧！



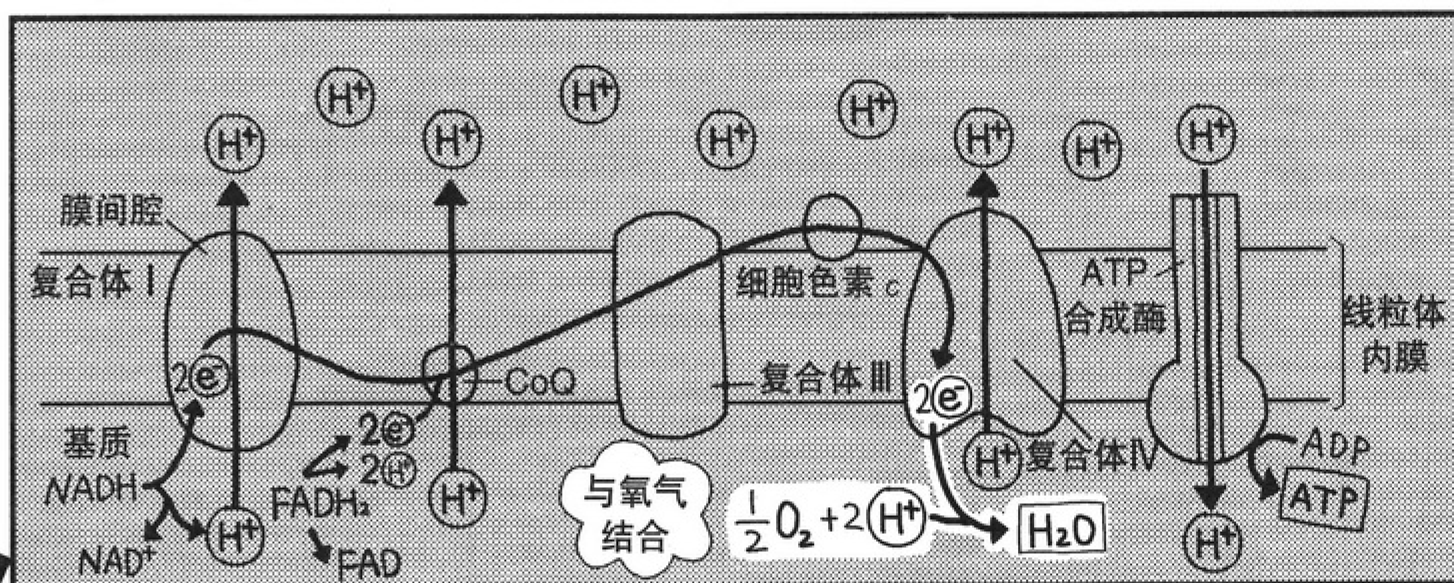
那个通道就是“ATP 合成酶”。当质子通过 ATP 合成酶时，就会生成 1 分子 ATP。



这样，由 10 分子的 NADH（其中 2 分子在糖解作用中生成）可以生成 30 分子的 ATP，由 2 分子的 $FADH_2$ 可以生成 4 分子的 ATP。



来自于 NADH 的电子在 3 个地方都发挥着“质子泵”的作用，但来自于 $FADH_2$ 的电子只在 2 个地方发挥着“质子泵”的作用，所以它们生成的 ATP 数量不同。





并且被利用的电子和质子与氧气结合（氧气在此是必需的）后会生成水。

原来如此！







如果用化学式表示呼吸作用的反应，就是最初我们所看到的那个式子。

学了有关呼吸作用的详细内容后，我感触极深。感觉就像经历了一次漫长的旅行……







同时，我们把38个ATP当作“光能”并将这个化学式的箭头反向的话，会有什么样的结果呢？

啊！是光合作用！哇……





在这一过程中，1分子的葡萄糖……



葡萄糖 → 糖解作用（2 ATP）→ 柠檬酸循环（2 ATP）→ 电子传递链（34 ATP）

由1个葡萄糖分子合计生成了38个ATP分子。

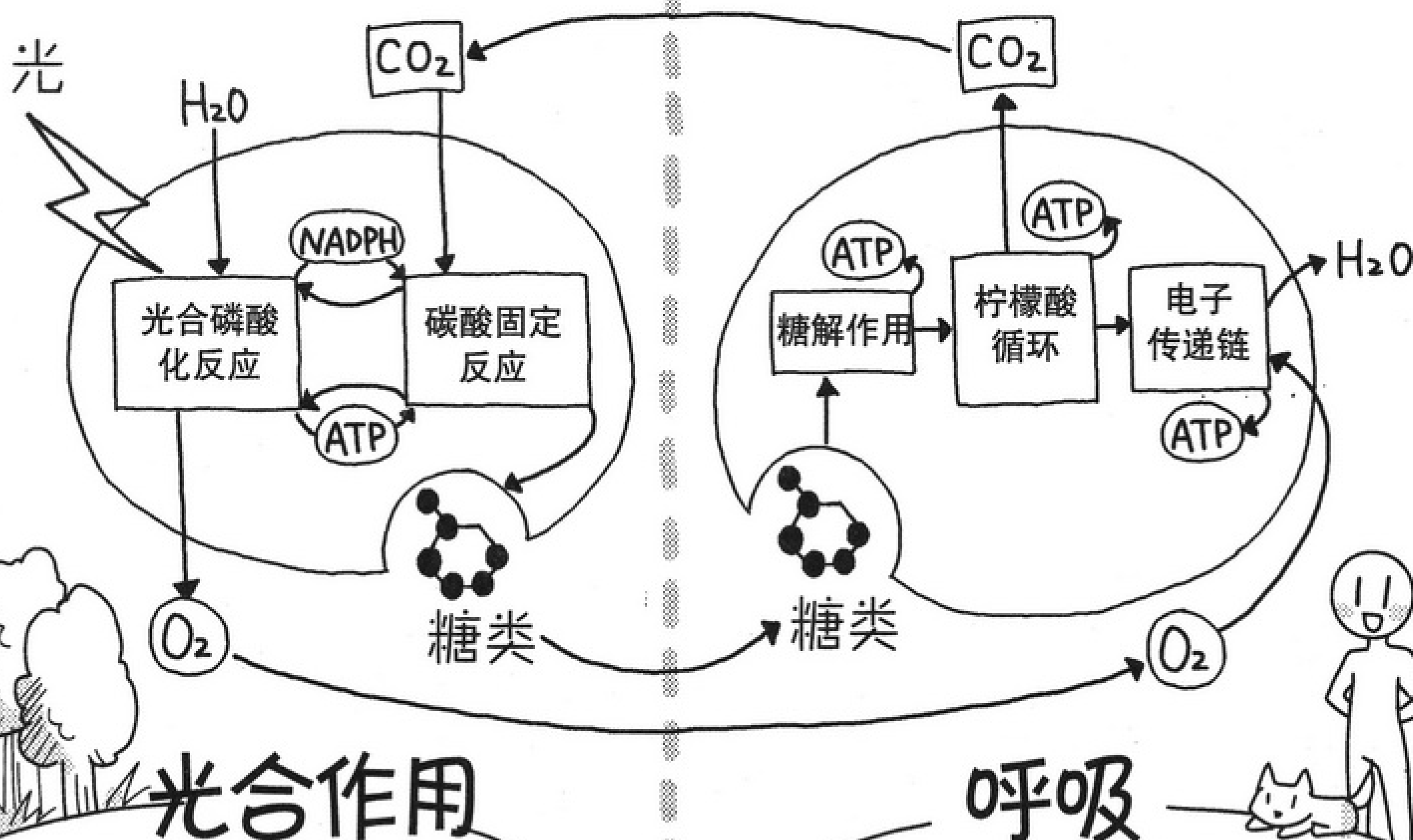
经过糖解作用、柠檬酸循环、电子传递链这三个步骤，合计生成了38分子的ATP，这38分子的ATP成为了我们细胞活动的能量※。

※ 在糖解作用中产生的NADH分子不能进入到线粒体内，所以存在着运载电子的“穿梭系统”。本来1分子NADH可以生成3分子ATP，而实际上只生成了2分子ATP，因此最终生成了36分子的ATP。

光合作用和呼吸——总结篇

唰唰

从物质循环特别是碳的循环的角度来总结一下光合作用和呼吸的相互关系，就是这样。



光合作用

通过光合作用利用二氧化碳能够生成糖类和氧气。

呼吸

通过呼吸作用利用糖类和氧气可以生成二氧化碳。

因为光合作用和呼吸作用的平衡进行，整个地球的生态系统才得以维持着。

光合作用

呼吸

破坏森林会给我们带来什么后果？如果从生物化学的角度来考虑，我们就非常清楚了。

整个地球的平衡会被打破……

我希望地球能够给我们提供丰富的食物……

是啊


老师，外面天色越来越黑了。
真的呀！


啊，只顾着专心学习了，没想到都这么晚了……
呼！


天这么黑了，女孩子独自一人回家很危险哦！
根本君，你就送久美回家吧！好不好？
えええ!!?


其实，今天我爸爸说会开车来接我！
啊
你们不必为我担心啦！
爽快
拒绝


啊，对，对！我送你回去吧！夜路很危险的，我很担心你的安全。
嗯……
啊……
カァ~ッ

啊！根本君也一起坐车回去吧！

不……我就不必了……

久美还真迟钝！

ヨロ

嗯……有没有什么好的方法呢？

啊

ぽん

久美，我们交换一下手机的邮件地址吧！以后如果有什么事情，联系起来也方便些。

好的！

呀！得到了黑坂老师的手机邮件地址，好激动啊！

太好了！

哧

4. 共同的能量货币——ATP

我们生物（当然也包含植物本身）以光合作用所生成的葡萄糖为主要的营养源，通过呼吸产生出生命活动所必需的能量。

正如本章所述，能量是一种化学物质，其名字叫做“三磷酸腺苷（adenosine triphosphate）”或“腺苷三磷酸”，简称为“ATP”。

目前世界上还没有任何国家都可以共同使用的货币，但是生物界在这方面已经非常先进，以 ATP 的形式来保存或消费生产出的能量，这与经济社会中货币的功能相似。也就是说，ATP 是任何生物都能够共同使用的“能量货币”。

但是，这并不是说生物之间在互相交换 ATP。

从细菌到人类，只要是生物都可以把 ATP 作为能量来利用，因此才将它称为“共同的能量货币”。

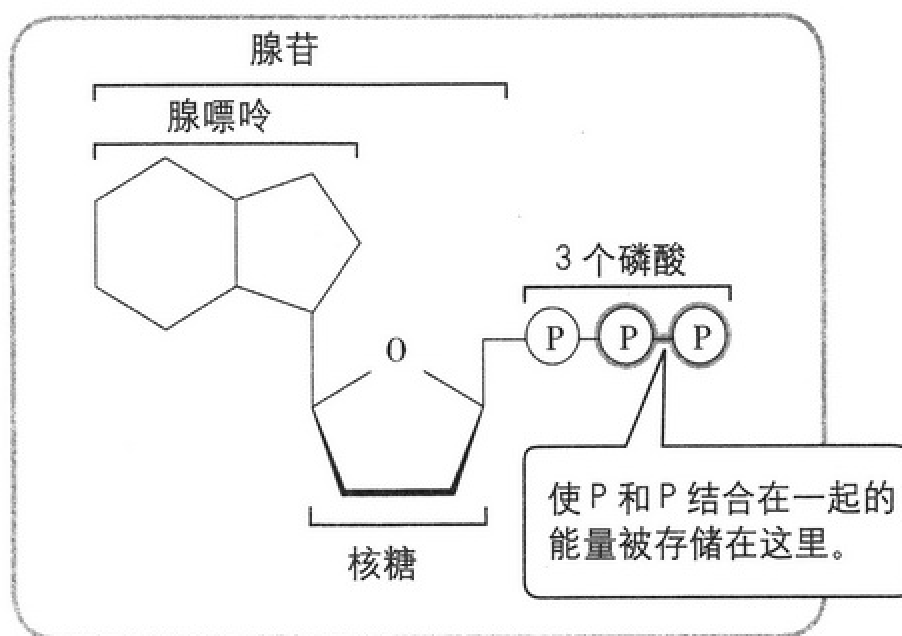
那么，为什么 ATP 是“共同的能量货币”呢？它到底是如何发挥“货币”功能的呢？

如下页图，ATP 分子由 1 个腺苷和 3 个排成 1 列的磷酸基连接而成。当位于其最外侧的磷酸基脱落被分解成 ADP（腺苷二磷酸）和 Pi（无机磷酸）时，1mol 的 ATP 分子会释放出 7.3kcal（31kJ）的能量。

因此，在试管内水解 ATP 时，其产生的能量可以使周围水的温度略微升高。

实际在细胞中，水解 ATP 所产生的能量并不是使周围水的温度升高，而是被作为酶促反应、肌肉活动、传导神经信号时的能量来加以利用。

所以，ATP 就是生物界通用的“能量货币”。



三磷酸腺苷（ATP）

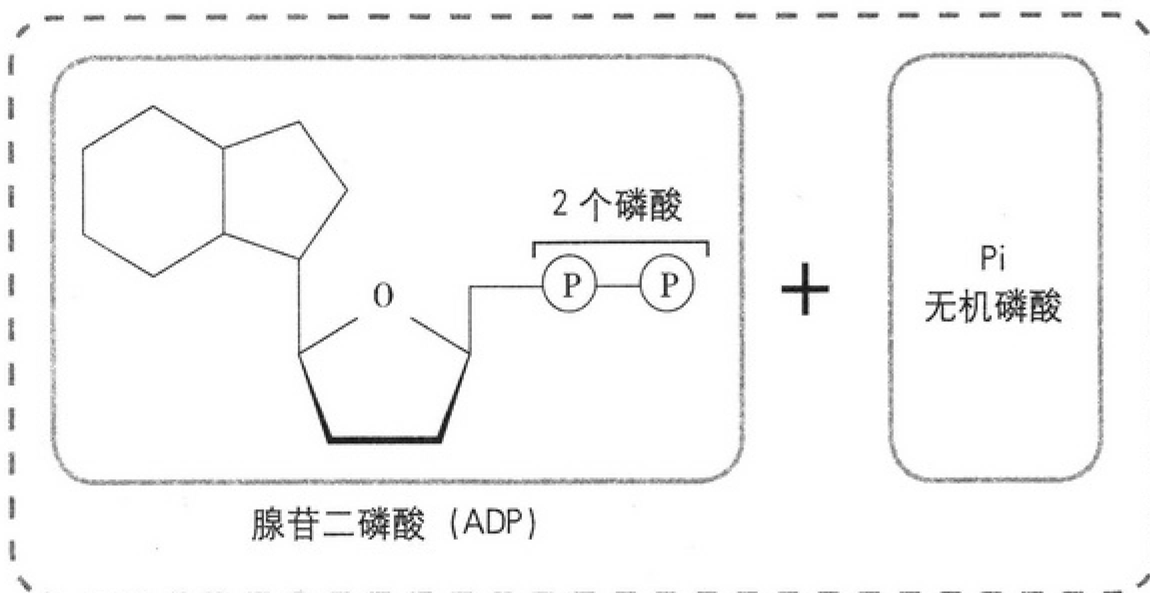
位于最外侧的磷酸基脱落被分解成腺苷二磷酸（ADP）和无机磷酸（Pi）时，

水解

会释放出 7.3kcal（31kJ）的能量。

利用 7.3kcal（31kJ）的能量，

将腺苷二磷酸（ADP）和无机磷酸（Pi）合成为三磷酸腺苷（ATP）。



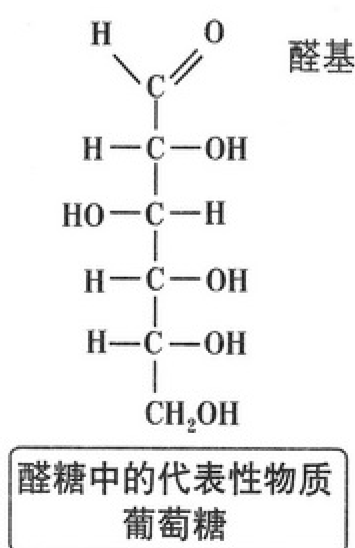
5. 糖类（单糖）的形式

●醛糖和酮糖

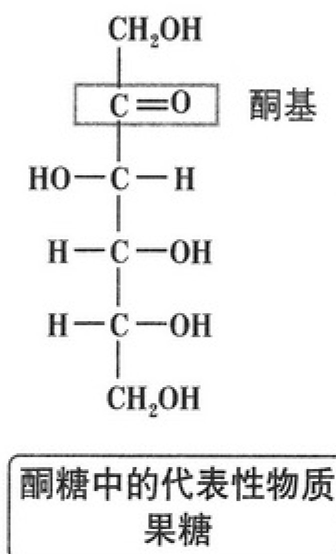
我们之前已经讲解过糖类（单糖）的基本形式之一，即由 1 个碳原子构成的醛基组合而成的情况，请参考第 61 页。实际上，单糖既包括由 1 个碳原子构成的醛基组合而成的单糖，也包括由两个碳原子构成的酮基（羰基）组合而成的单糖。

根据其结构单糖可分为醛糖和酮糖，即分子中含有醛基的单糖为醛糖，分子中含有酮基的单糖为酮糖。

醛糖中的代表性物质就是“葡萄糖”和“半乳糖”等,酮糖中的代表性物质是“果糖”等。（关于果糖的详细内容，请参考第 3 章）。



醛糖中的代表性物质
葡萄糖



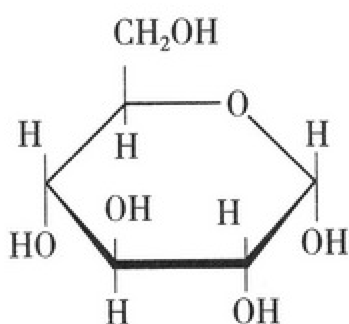
酮糖中的代表性物质
果糖

●吡喃糖和呋喃糖

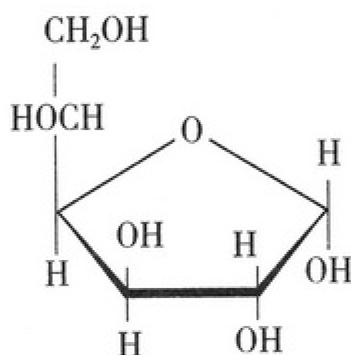
我们之前已经讲解过当单糖呈环状结构时，葡萄糖的分子结构一般为六角形，但是也有五角形结构的。我们将由 5 个碳原子和 1 个氧原子形成的六元环结构的糖类物质叫做吡喃糖（pyranose），由 4 个碳原子和 1 个氧原子形成的五元环结构的糖类物质叫做呋喃糖（furanose）。

葡萄糖通常都呈吡喃糖结构，但是也有极少数呈呋喃糖结构。为了区分它们，我们将前者叫做“吡喃葡萄糖”，将后者叫做“呋喃葡萄糖”。

另外，酮糖中的代表性物质——果糖，在呈环状结构时，既有吡喃糖结构的，又有呋喃糖结构的，它们分别被称作“吡喃果糖”、“呋喃果糖”。



吡喃葡萄糖



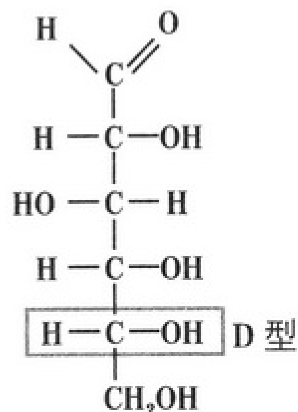
呋喃葡萄糖

● D 型和 L 型

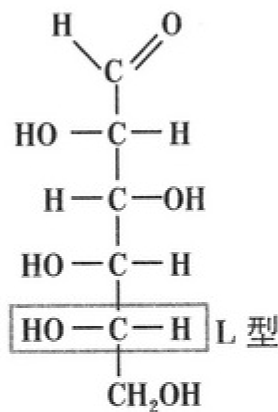
我们都知道，在单糖中，存在着相互之间具有镜像关系的光学异构体。常称它们为“D 型异构体”、“L 型异构体”。在本书中所出现的单糖均为“D 型”。比如在葡萄糖中有“D– 葡萄糖”和“L– 葡萄糖”。在下图的链式结构中，离醛基（或酮基）最远的碳原子（4 个键所相连的物质均为不同的碳原子，若是葡萄糖，就是指第 5 个碳原子）的 –OH 位于右侧时为 D 型，位于左侧时为 L 型。在此基础上，与 D 型葡萄糖分子中第 2 个到第 5 个碳原子相连接的 –H 与 –OH 左右对调后，D 型就变成了 L 型。

与第 2 个到第 5 个碳原子相连接的 –H 与 –OH 相互对调非常重要。比如，如果只是与葡萄糖分子中的第 4 个碳原子相连接的 –H 与 –OH 左右对调的话，就会生成另外一种单糖——半乳糖（请参考 P62）。

另外，自然界中的单糖几乎都是 D 型。



D– 葡萄糖

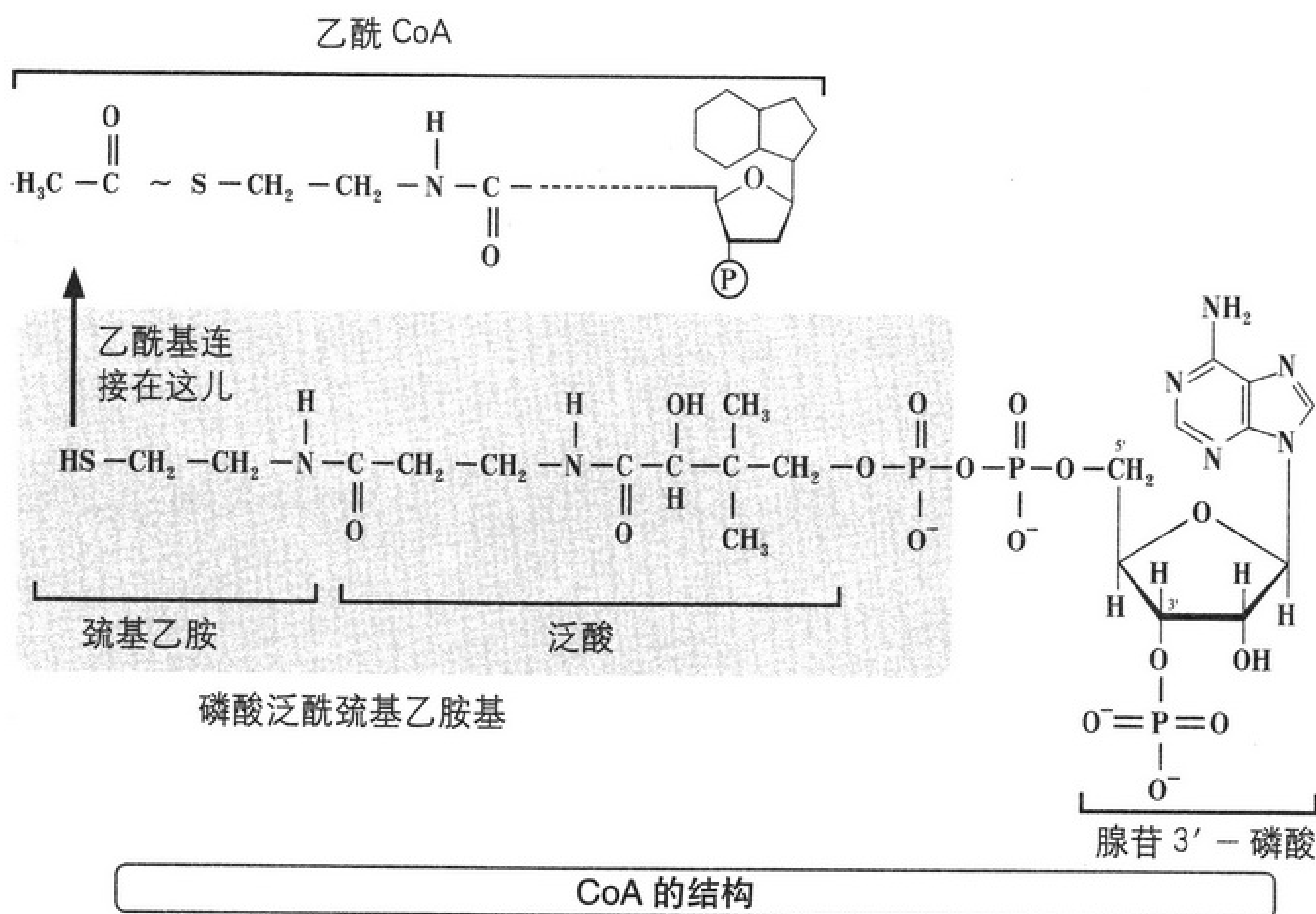


L– 葡萄糖

6. CoA 是什么？

糖解作用中所产生的丙酮酸在进入柠檬酸循环时，会生成乙酰 CoA 这种物质。这个 CoA 到底是什么呢？

CoA 是 coenzyme A（辅酶 A）的简称。下面是其分子结构式的图示。它是由两个磷酸基团并列地连接在腺苷 3′- 磷酸的 5 号碳原子上、再与一种维生素物质“泛酸”以及“巯基乙胺”连接在一起形成的物质。其中在图中划线的部分叫做“磷酸泛酰巯基乙胺基”，它作为运输载体主要用来运送乙酰基和脂肪酸的碳水链。乙酰 CoA 就是乙酰基连接在这个“巨大的”分子的一端所形成的。



CoA 的结构

并且，与 CoA 功能相似的蛋白质还有酰基—载体蛋白质（acyl-carrier protein），简称为 ACP。ACP 在第 3 章的脂肪酸合成、β 氧化中将会出现。它同样是具有磷酸泛酰巯基乙胺基的一种运输载体，与 CoA 不同的是磷酸泛酰巯基乙胺基不是连接在腺苷 3′ - 磷酸上，而是连接在 ACP 的丝氨酸（氨基酸的一种）上。

因为是“辅”酶，所以 CoA 在代谢过程中并不参与实际的化学反应，而是为促进化学反应的发生提供“场所”。

第3章 生活中的生物化学

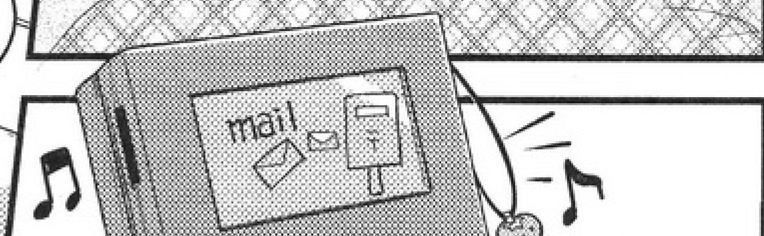


1. 脂类和胆固醇

脂类是什么？









我是黑坂。非常抱歉！
因为突然有事情，所以不能给你们上课了。
今天就请根本君和久美两个人来解开这些谜题。

1. 胆固醇真的是不好的东西吗？
2. 为什么吃得太多就会长胖？
3. 血型是什么东西？
4. 为什么水果会变甜？
5. 为什么年糕会粘乎乎的？

实际上，这都是在生物化学中要解开的谜题。
今天不用来学校，你们就在久美家一起慢慢思考这些问题吧。


这样啊，太可惜了……
不过，这些谜题看起来好有趣！


おーっ
好！我要好好写一份报告，让黑坂老师大吃一惊！说不定还会得到她的表扬。

两小时后——

你好！


因为老师有事，所以今天由我来教课……


喂，喂！我好想快点把谜题解开！




黑坂老师突然发生什么事情了？我能教好吗？


嗯！没错！
不多想了。我就用我的方式来教教试试吧！

好，首先我们要解开这个谜题。
1. 胆固醇真的是不好的东西吗？

我来回答！

胆固醇是油和脂肪吧？我认为它绝对是不好的东西。

父

突出来了吗？

我爸爸也很在意肚子上的脂肪和新陈代谢……

我可不要脂肪！我的目标是身体脂肪率为0%。

目标 -5kg！
消灭！！
体内脂肪！！

久美，你搞错了！

为了久美好，我们必须好好学习一下有关脂类的知识。
在黑坂老师的课上我们曾经学过有关糖类的知识。
糖类再加上“脂类”、“蛋白质”，我们将它们叫做“三大营养素”。
那么，让我们来思考一下其中脂类。

喀喀

咦？我所担心的是脂肪。脂类是什么？它和脂肪有什么不同呢？

嗯……

啪啪
啦啦

脂类

中性脂肪
●中性脂质

●磷脂
●糖脂
●类固醇
等等

就是这样。

脂类包含中性脂质、磷脂、糖脂、类固醇等。

脂类是生物化学中常用的词语，脂肪是营养学中常用的词语。

在这里意义几乎是一样的，可以认为“脂类＝脂肪”。

但是，我们通常减肥中所提到的脂肪……

大多是指“中性脂肪＝中性脂质”。

因为很容易混淆，所以之后我们都使用“脂类”这个词。

OK!

不过，脂类是具有各种形状的物质的总称，所以很难给其下定义。

含含糊糊

脂类

可以说脂类的性质是“难溶于水易溶于有机溶剂”※。

有机溶剂？

对了，丙酮就经常被用在祛除指甲油的去光水中。

具体而言，就是指酒精、丙酮等以碳原子为骨架的有机化合物的液体。

脂类易溶于这种液体。

※ 因为一部分的糖脂能溶于水，所以也有例外。

那么，我们来依次解说一下刚才的图。

中性脂肪

●中性脂质

首先是中性脂质！

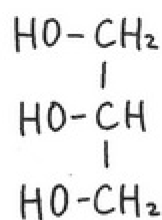
正如刚才所言，我们通常所说的脂肪的真实身份就是中性脂质。

ゴゴゴ ゴゴゴ

ふむ

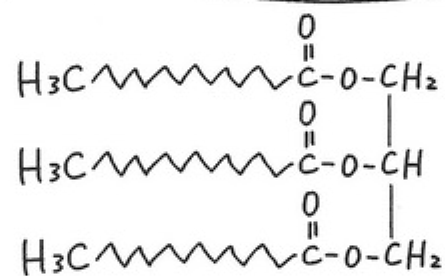
中性脂质由“甘油（glycerol）”和“脂肪酸”组成。

在我们体内的中性脂质中最多的就是由1个甘油分子和3个脂肪酸分子按照下图结构结合而成的“三酰甘油（triacylglycerol）”。





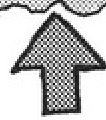




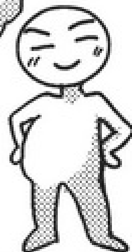
甘油 ＋ 脂肪酸



三酰甘油



中性脂质



在学习有关脂类的知识时，会经常出现三酰甘油这个词。

哼

呜呜……我的敌人就是这个三酰甘油吗？我决不会忘记敌人的名字。

另外也存在着由1个甘油分子和1个脂肪酸分子结合而成的“单酰甘油（monoacylglycerol）”，

由1个甘油分子和2个脂肪酸分子结合而成的“二酰甘油（diacylglycerol）”。

同时……

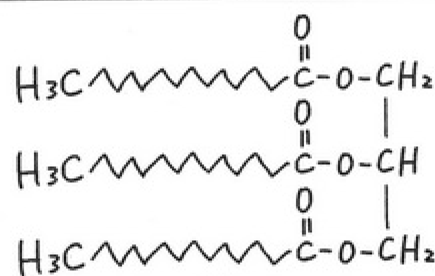
接着是磷脂！

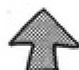
• 磷脂



把中性脂肪的 3 个脂肪酸中的 1 个脂肪酸换成含有“磷酸”的化合物，就变成了磷脂分子的结构※。





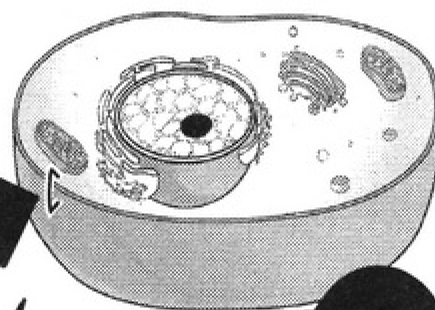


其中的 1 处不同！

对了，久美，你已经听说过一次磷脂分子了吧？

嗯……是在哪儿呢？

是在细胞膜结构的那部分内容。



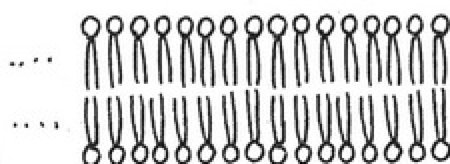


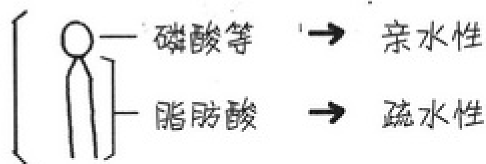
细胞膜主要是由磷脂分子组成的吧？

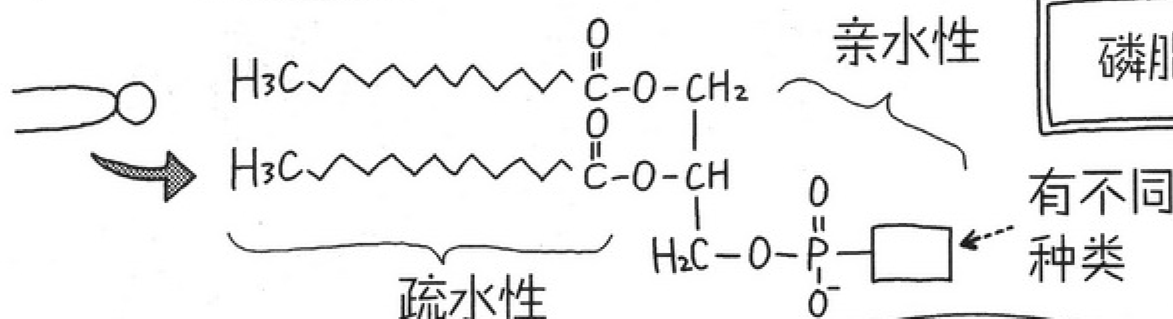
磷脂具有“双亲媒性”。

两个脂肪酸部分具有疏水性，含有磷酸的化合物部分具有亲水性。

磷脂的疏水部分位于内侧，亲水部分位于外侧，由此形成了双层膜。







所谓“双亲媒性”是指既具有容易与水混合的亲水性，又具有难以与水混合的疏水性。

※ 我们将以甘油为基础形成的磷脂叫做“甘油磷脂”，另外还有一种磷脂叫做“鞘磷脂 (sphingolipid)”。

接着是糖脂！

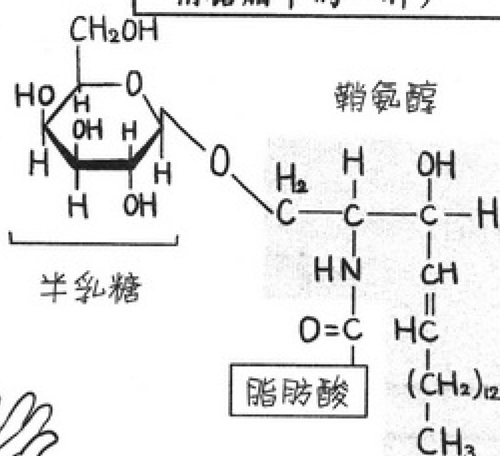
• 糖脂

糖脂是指含有糖类的脂类物质，

包含甘油糖脂、鞘糖脂等。

糖类

半乳糖脑苷脂
(galactocerebroside，鞘糖脂中的一种)



与中性脂质一样，在磷脂和糖脂中也含有脂肪酸。

脂质

中性脂肪

● 中性脂质

● 磷脂

● 糖脂

● 类固醇等

含有“脂肪酸”

嗯，很多物质中都含有脂肪酸。

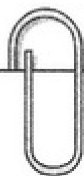
嗯，许多脂类物质中都含有脂肪酸。

可以说脂肪酸是脂类物质的主角。

是脂类物质的主角！呜呜，我觉得对于我来说它就是可恶的坏蛋。

其实，久美十分讨厌的脂肪酸是一种非常重要的物质。

我来详细讲解一下！



脂肪酸



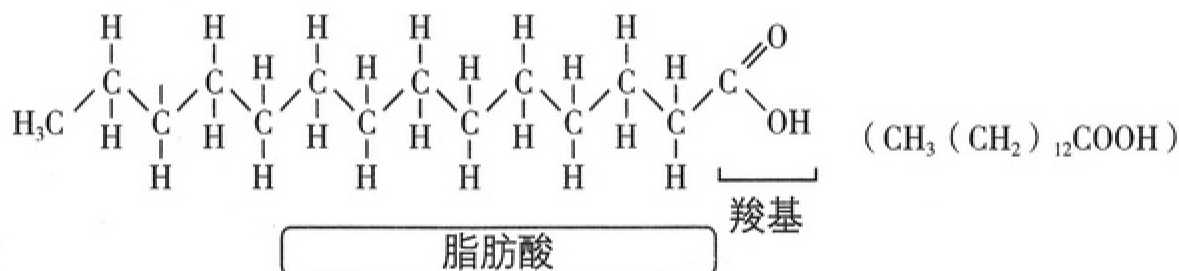
脂肪酸既可以变成能量源，又可以形成磷脂成为构成细胞膜的材料。如果没有脂肪酸，人类就无法生存下去。



哦，原来如此。真是出乎我的意料，我还一直认为它是我的敌人呢！



首先，让我们来看看脂肪酸的结构。
脂肪酸一般都是由几个甚至几十个碳原子横向连接成链构成的，但是实际上我们身体中的脂肪酸中的 C 的数量一般在 12 个到 20 个左右。





并且，这个长链（叫做碳水链）最边上的结构叫做“羧基”。

因为几乎只有氢原子（H）与横向连接着的各个碳原子（C）相连接，所以不像糖类那样因带有羟基（−OH）而具有亲水性。（关于糖类请参考 P61）。



嗯，啊！有点类似于水和油的关系。
果然很难溶于水啊！



在我们身体中的脂肪酸大多数都含有 16 个以上的碳原子。
比如软脂酸（palmitic acid）、硬脂酸（stearic acid）、亚油酸（linoleic acid）、亚麻酸（linolenic acid）、花生四烯酸（arachidonic acid）等，这些都是对我们非常重要的脂肪酸。



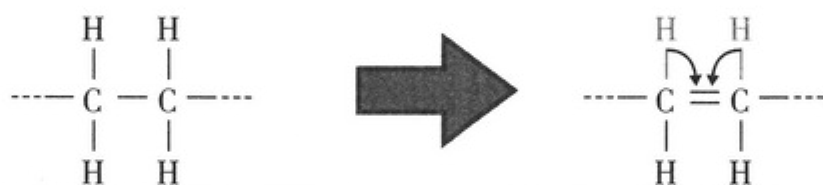
哇，好多C！脂肪酸也有很多种。

软脂酸	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$
硬脂酸	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$
亚油酸	$CH_3(CH_2)_4(CH=CHCH_2)_2(CH_2)_6COOH$
α－亚麻酸	$CH_3CH_2(CH=CHCH_2)_3(CH_2)_6COOH$
花生四烯酸	$CH_3(CH_2)_4(CH=CHCH_2)_4(CH_2)_2COOH$

分子结构中，有“双键结合”时，就这样写。



如上图所示，在脂肪酸中，既有以碳碳“双键结合”而成的分子，又有非双键结合的分子。



碳原子有4个“键”，这4个“键”通常分别与其他原子相结合。

但是有时同时使用2个键与其他原子结合。我们将这种结合叫做“双键结合”。



我们把像这样双键结合的碳原子叫做“不饱和碳原子”。

并且把含有不饱和碳原子的脂肪酸称为“不饱和脂肪酸”。

我们都知道，不饱和脂肪酸与其他脂肪酸相比较，即使在低温下也是液体状态，很难变成固体。因此，细胞膜之所以会比较柔软，是因为其磷脂成分中多含有不饱和脂肪酸的原因。

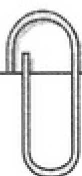


嗯，双键结合的数量越多，就越难变成固体吧？



没错。双键结合的数量越多，脂肪酸由固体变为液体的温度——熔点就越低。由于碳原子数量以及碳碳双键结合的数量的不同，脂肪酸的种类和性质也会大不一样。

这个结合结果决定着脂类的性质。



胆固醇属于类固醇家族



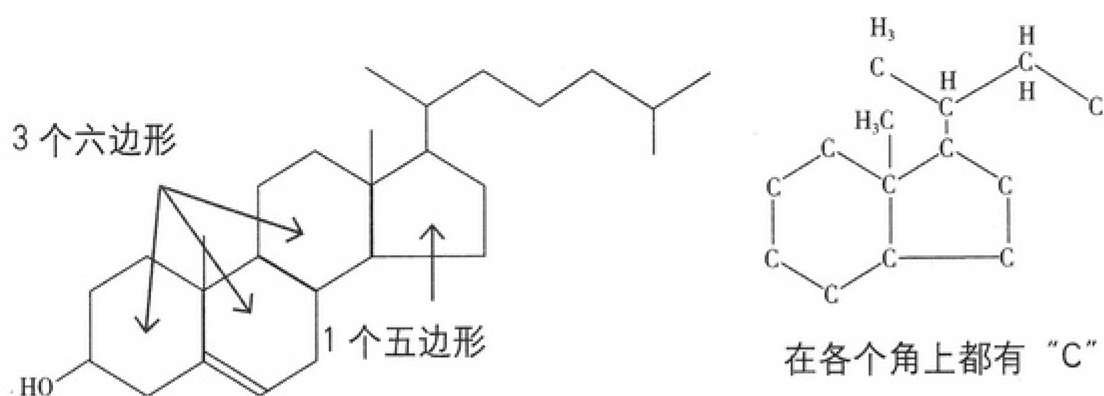
那么，这次问题的主要对象是“胆固醇”。



对了，脂类和脂肪酸的相关知识我都弄明白了，但是胆固醇到底是什么东西呢？

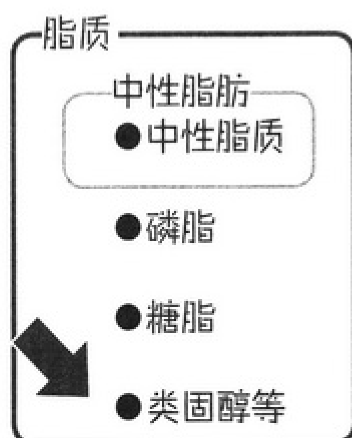


胆固醇也是脂类家族的成员。实际上它的分子结构图可以呈现出这样的形状。





我们将 3 个六边形（六元环）和 1 个五边形（五元环）如上图那样组合而成的结构叫做“类固醇骨架”，把具有这个骨架的基本形状的脂类叫做“类固醇”。





哦，那么胆固醇也是一种类固醇！

胆固醇的作用



我明白了胆固醇也属于类固醇中的一种。
但是，类固醇是什么东西呢？
我似乎在某种药中听说过这个词，但是却不知道它是什么。



首先，提起“类固醇”，我们大都会想到某种药。其实和胆固醇一样，在我们的身体中也存在着各种各样的“类固醇”。

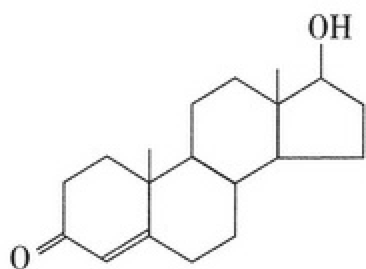
比如有一种激素叫做“类固醇激素”。
最有名的就是“性激素”。这些都是使男人具有男性特征、女人具有女性特征所不可缺少的激素。

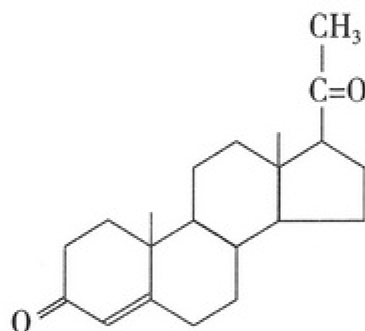


是塑造女性特征所必需的啊！
嗯，那是非常重要的激素！



在男性睾丸中产生的一种性激素“睾酮（又名睾丸素）”实际上就是由胆固醇派生的。
由胎盘等分泌出的“孕酮（黄体酮）”也是由胆固醇派生的。

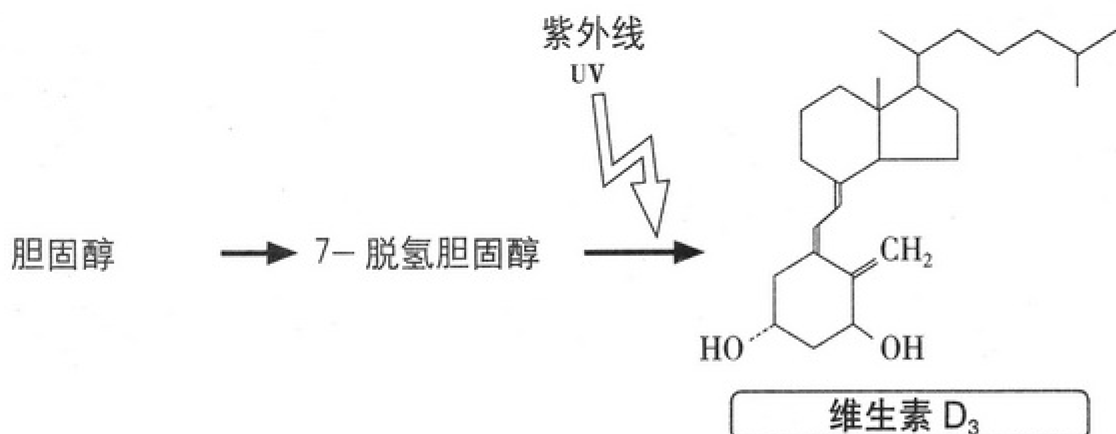




睾　酮　　　孕　酮



并且“维生素 D”也属于类固醇家族，它也是由胆固醇生成的。当紫外线照射在皮肤上时，人体内的胆固醇能转化为维生素 D，所以晒太阳对于我们来说非常重要。



另外，在小肠中消化和吸收脂肪的“胆汁酸※”也是由胆固醇合成的。总之，胆固醇在人体中起着非常重要的作用。



哇！原来胆固醇有这么多重要的功能啊！
真是令我感到意外！



没错！像你爸爸那样注重健康的人，一提到胆固醇，可能马上就会联想到动脉硬化、肥胖等不好的事情。但是，实际上胆固醇对于我们身体来说是一种非常重要的物质。



咦？我搞不懂了！为什么对于身体来说非常重要的物质会给人一种生病、不健康的印象？
我都糊涂了！到底是怎么回事？



下面我就来解开这个谜题。

※ 胆汁酸在肝脏中产生后被贮存在胆囊内，然后被分泌到十二指肠中。

好坏胆固醇的真实身份都是“脂蛋白”

那么，让我们一起来探讨问题的核心。
胆固醇真的是不好的物质吗？

哇哈哈

胆固醇

我听说过好胆固醇、坏胆固醇之类的词，

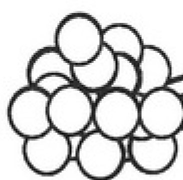
所以我也不清楚它究竟是好是坏。

实际上胆固醇本身并没有好坏之分。



欸？是吗？

胆固醇都是一样的，



原本都一样

但是根据其搬运的路径，我们将它划分为好胆固醇和坏胆固醇，以示区别。

啊？好坏都是一样的？



接着我将做一下详细说明。因为脂类本身很难溶于水，所以它不能在血液中单独存在。

因此它与其他的分子结合在一起构成一种特殊的形态“脂蛋白”而溶于血液中。

脂蛋白

血液

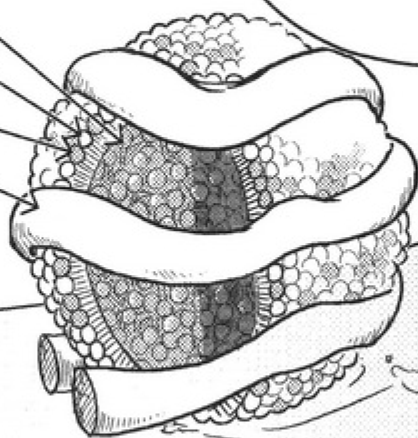
脂蛋白

脂蛋白呈圆球状，其内部含有难溶于水的中性脂质和胆固醇酯[※1]。

其表面覆盖着具有双亲媒性的磷脂（细胞膜的成分）和名叫“载脂蛋白”的蛋白质，

以及游离胆固醇[※2]。

感觉就像是一个经过涂层处理的球体……



大碗里

漂在大碗里

根据比重可以将脂蛋白分为如图几种。

中性脂质

蛋白质

其比重就是指所有脂蛋白粒子的比重。
中性脂质所占的比例越高，其比重就越小。
相反蛋白质所占的比例越高，其比重就越大。

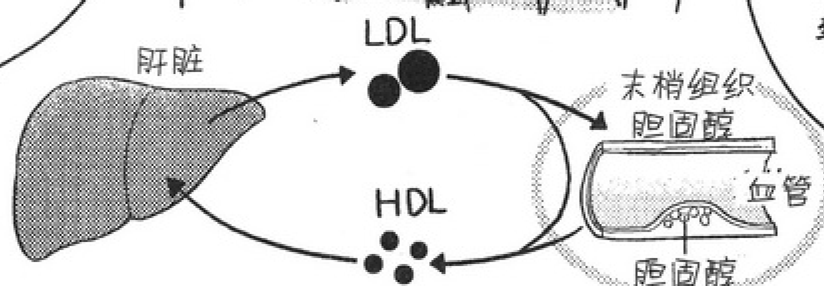


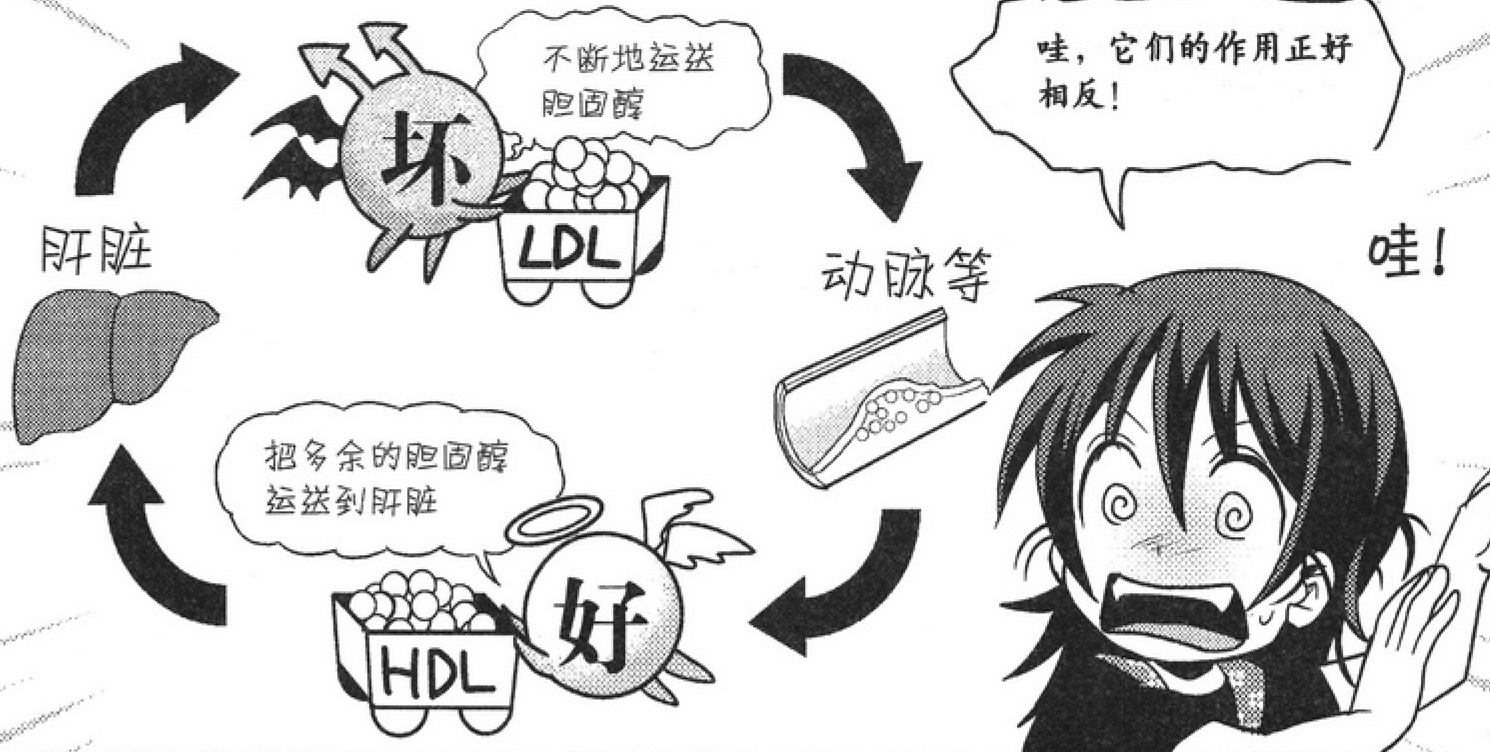
哦，哦

※1 胆固醇酯是脂肪酸与胆固醇结合而成的。
※2 游离胆固醇是指没有与脂肪酸结合的胆固醇本身。

其中 LDL 内的胆固醇多，它负责将胆固醇运载到末梢组织，即身体的各个组织部位。

相反，HDL 内的胆固醇少，它负责把胆固醇从末梢组织运送到肝脏。





因此，LDL 被称为把胆固醇运送到身体各个组织部位堆积起来的“坏胆固醇”，HDL 被称为把胆固醇从末梢组织移除并运送到肝脏中的“好胆固醇”。

好 坏

我明白了！
胆固醇本身都是一样的。

啪！

但是，因为组合的脂蛋白的不同，就有了好胆固醇和坏胆固醇之分。

好 坏



什么是动脉硬化？



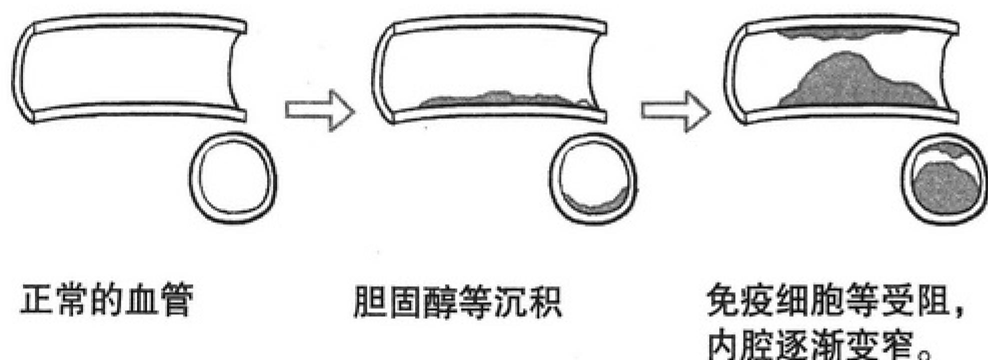
那么，久美，请你试着思考一下，当血液中的 LDL（坏胆固醇）的浓度较高，而 HDL（好胆固醇）的浓度较低时，会出现什么结果？



嗯……胆固醇就会不断地被运送到末梢组织、动脉中，并在血管壁中堆积起来。



嗯，没错！胆固醇等堆积在血管中，会造成血管内腔狭小，妨碍血液的流动。我们将这种现象叫做“动脉硬化”。



正常的血管　　**胆固醇等沉积**　　**免疫细胞等受阻，内腔逐渐变窄。**

血管变厚变硬，这种症状的发生会引发各种疾病，甚至会导致死亡。



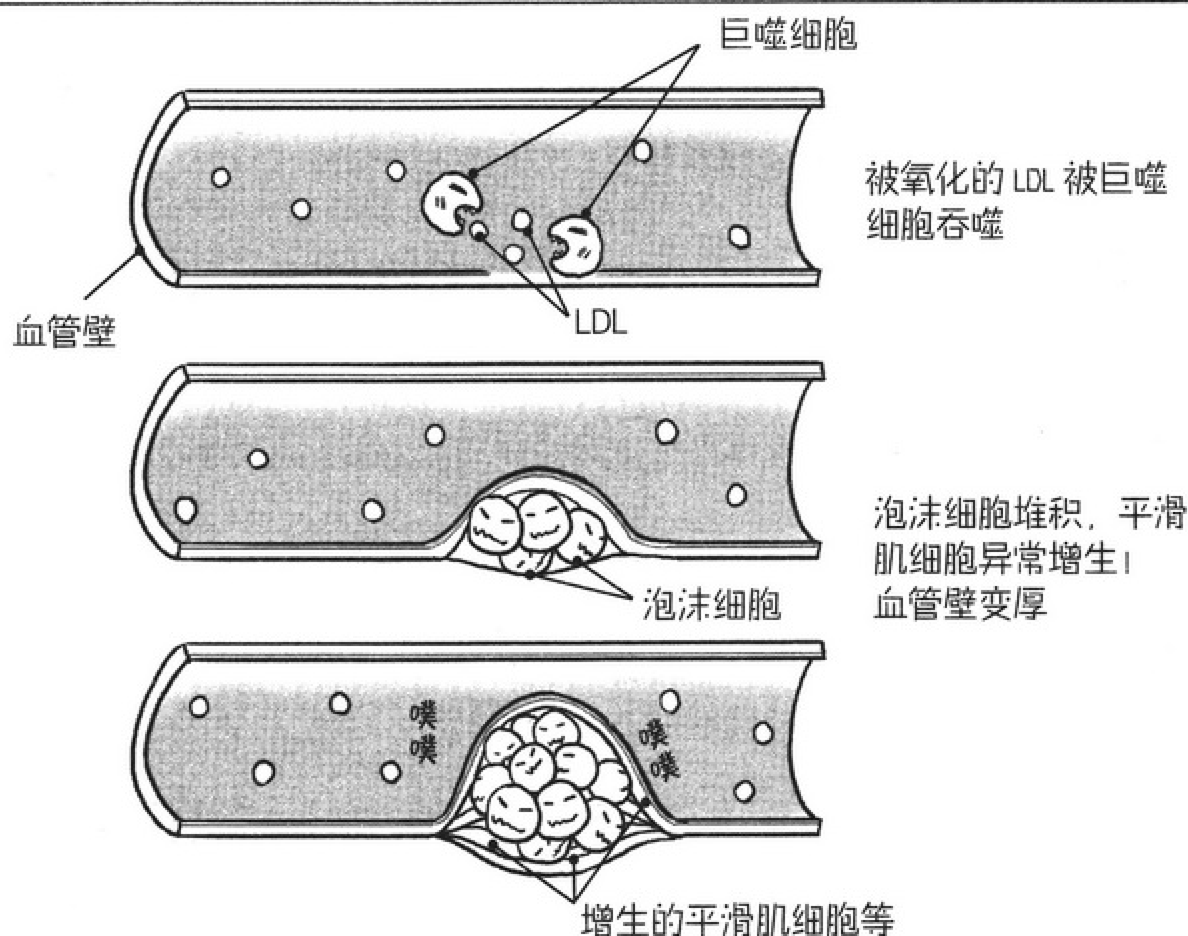
请不要解释得那么吓人……



一般认为，典型的动脉硬化病症——动脉粥样硬化，就是这样造成的。LDL 内的胆固醇等沉积在受损的血管内壁上，巨噬细胞等贪食细胞※将其吞噬后形成满是脂肪的“泡沫细胞（又名富脂巨噬细胞）”继续堆积在血管中。

于是，构成血管壁的平滑肌细胞也会增生变形，结果会导致血管壁的结构发生很大变化，血管壁逐渐变硬变厚。

※ 贪食细胞，也就是什么都吃的细胞，为免疫系统中的一员。





因为胆固醇，一些组织细胞都增生了，太糟糕，太可怕了！不过，为什么叫做“动脉粥样硬化”呢？我觉得粥和胆固醇没有关系啊。



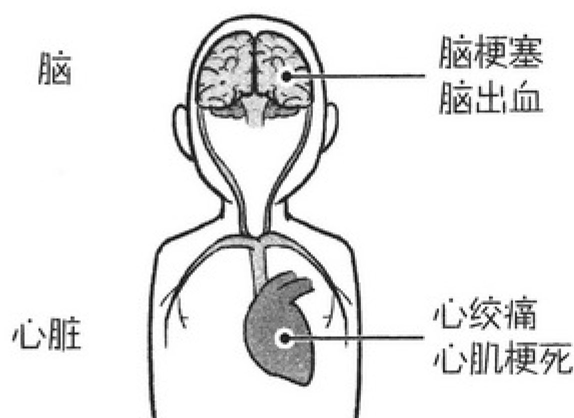
这是因为沉积在变厚的血管壁上的胆固醇像粥一样黏稠。



这太讨厌了！



由动脉硬化所引发的疾病有以下几种。



谜题 1　胆固醇真的是不好的东西吗？

@ 胆固醇以"脂蛋白"的形式在血液中被运送，其中包括好胆固醇（HDL）和坏胆固醇（LDL）。

@ LDL 中的胆固醇被运送到身体的各个组织中，HDL 中的胆固醇从各个组织中被运送到肝脏内。它们的平衡非常重要。

@ 胆固醇是生成激素的重要物质。
但是，如果摄取过多的胆固醇，会形成动脉硬化，从而引发各种严重的疾病。

总结一下！



重要的就是 LDL 和 HDL 的平衡。

也就是说胆固醇既不能过多也不能过少，最好是摄取适量的胆固醇。

HDL

LDL

爸爸，我明白了。

不管是新陈代谢还是减肥，掌握正确的知识都是很重要的。

嗯

嗯

蛋黄酱放太多也不好……

适量放一些会更好吃……

噗哧

我喜欢的烧烤

2. 脂肪为何会在体内积蓄？







摄取的能量和消费的能量

摄取糖类、脂类、蛋白质，然后用它们来合成能量（ATP）。

糖类

脂类

蛋白质

ATP

1mol 的 ATP 分子大约含有 7.3kcal 的能量。

ATP

我们把由我们摄取的糖类、脂类、蛋白质所合成的能量的总和叫做摄取的能量※。

※ 因为也有一部分东西吃进肚子里就被排泄出来了，所以准确地说，称作摄取（被体内所吸收的）的糖类、脂类、蛋白质更正确。




应该是吃得越多，摄取的能量就会越多吧！
这个我知道！即使是在晚上睡觉保持安静的状态下，
也要进行最低限度的必需的能量消费活动“基础代谢”。
另外，我们只要活着，就需要使用能量。
没错！
如果做运动，就会消耗更多的能量。
嗨哟
嗨哟
加油
加油
我们把这些被利用的能量的总和叫做消耗的能量。
摄取的能量
消耗的能量
作为脂肪被贮存的能量
如果消耗的能量比摄取的能量少，剩余的能量就会不断地在体内蓄积。
身体就会把这些能量以“脂肪”的形式储存起来。
骨碌
骨碌
哎哟
光吃不运动就会长胖啊……
骨碌



动物具有保持脂肪水平的生理机制



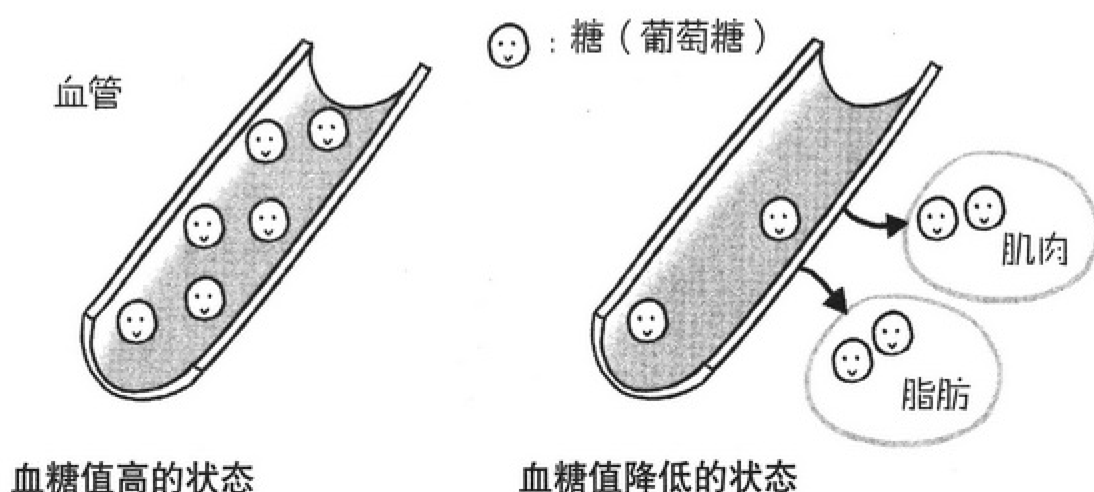
动物本身具有将身体内的脂肪保持在一定水平的生理机制。吃得过多就会引起脂肪蓄积，这一信号就会传递给大脑，大脑发出指令要减少所吃食物的分量。相反，当脂肪减少或身体处于饥饿状态时，大脑就会发出指令要适量饮食使脂肪恢复到原来的水平。



嗯。这是在严酷大自然中生存下来的动物的本能。如果太胖就不能狩猎，如果太瘦，就会饿死。



没错！比如，在治疗糖尿病中非常有名的药物“胰岛素”是一种蛋白质类激素，它能促进肌肉和脂肪组织将血液中的糖（葡萄糖）吸收并将它们作为糖原（glycogen）和脂肪贮存起来，结果就会降低血糖值。



血糖值高的状态 **血糖值降低的状态**



哦，血液中所含糖的浓度就是血糖值啊。
如果葡萄糖被肌肉和脂肪组织充分吸收后，血液中糖的浓度就会降低。

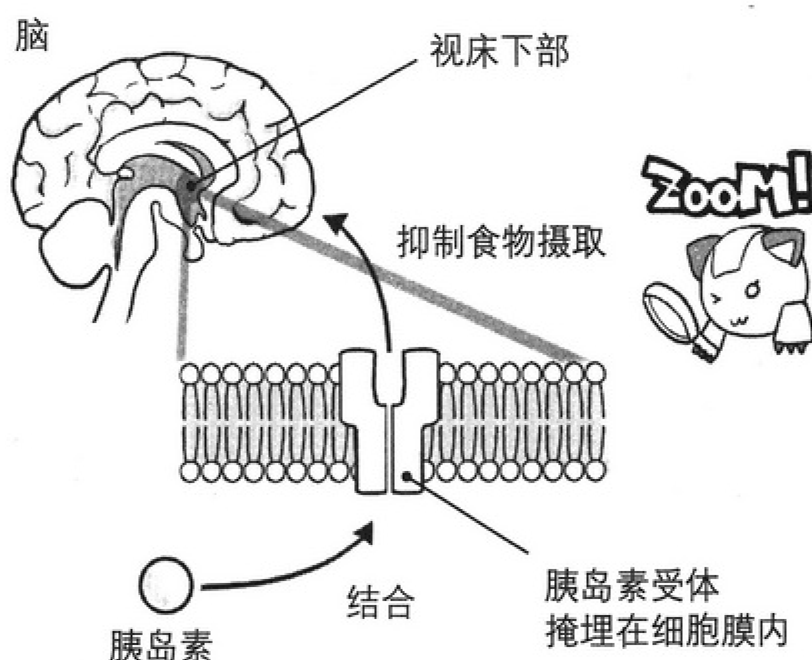


并且，我们都知道位于脑的“视床下部”的神经细胞的细胞膜中含有一种叫“胰岛素受体※”的蛋白质。

※ 胰岛素受体不仅存在于神经细胞中，在身体的各个细胞组织的细胞膜中都存在。



好像胰岛素就是通过视床下部来调节动物的食物摄取行为和脂肪水平的。





如果人工性地抑制老鼠的胰岛素受体的分泌，老鼠就会变得极度肥胖。胰岛素与视床下部的胰岛素受体结合后，会通过神经系统来抑制食物摄取。



啊！脑会发出命令，让我们不要吃得太多?
脑竟然有那样的功能！真是令我大吃一惊！



另外，我们也知道，只有在脂肪组织中才能产生的蛋白质——“瘦蛋白(leptin)”也会像胰岛素一样通过位于视床下部的“瘦蛋白受体”，将脂肪在脂肪组织中蓄积的信息传递给大脑，促使大脑发出让我们抑制食物摄取的指令。



嘿！胰岛素和瘦蛋白都是控制我们饮食欲望的重要蛋白质。



瘦蛋白基因发生变异的老鼠会变得非常肥胖就证明了这一点。

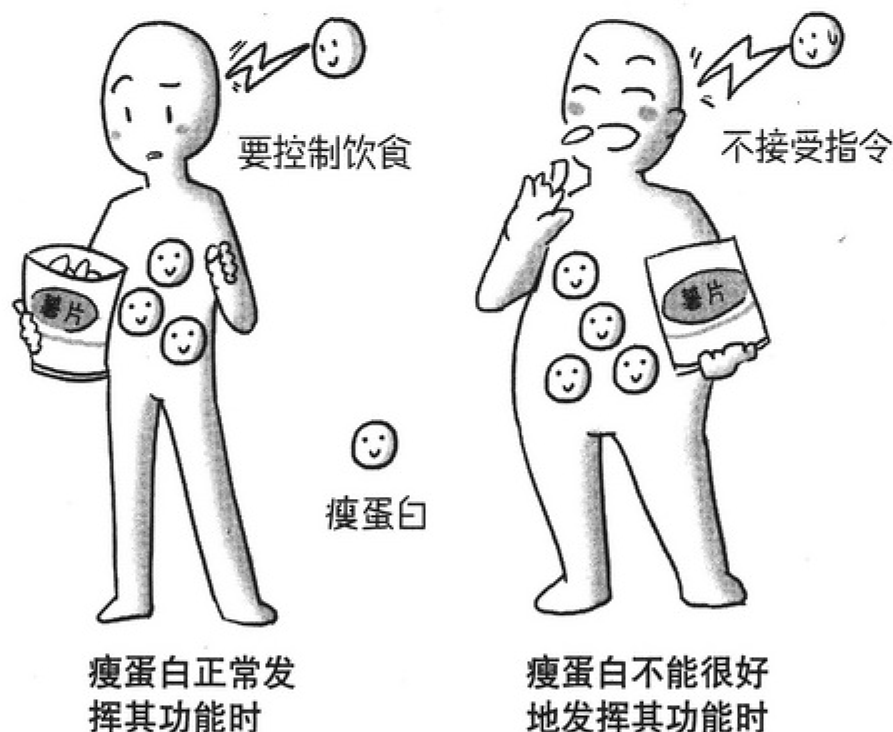


哎呀！瘦蛋白如果不能充分地发挥其功能的话，就会长胖、再长胖……



测量一下正常人和肥胖人的血液中的瘦蛋白浓度，得到的值均与脂肪量成一定比例。

无限制地吃逐渐变胖的人分泌瘦蛋白的能力与正常人无异，但是正常人体内的瘦蛋白能够很好地发挥其抑制食物摄取的功能，而肥胖人体内的瘦蛋白就不能很好地发挥其抑制食物摄取的功能。也就是说，肥胖人对瘦蛋白具有抵抗性。



瘦蛋白正常发挥其功能时　　**瘦蛋白不能很好地发挥其功能时**



好可怕哦！如果胰岛素和瘦蛋白都不能正常发挥其功能的话，无论吃多少，食欲都无法被抑制。



另外，我们也知道各种物质之间都是相关联的，所以要保持脂肪水平和食欲之间的平衡。

多余的糖类会变成脂肪

也就是说，肥胖是维持体内代谢稳定的生理环境※平衡被打破所导致的结果，

ずーん

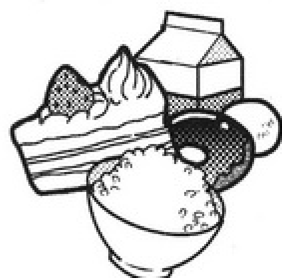
其症状就是体内脂肪过剩堆积。

也就是说……

吃得太多，就会贮存脂肪……

我倒

那么，脂肪蓄积起来后……



哇！

?

FAT!?

这是什么样的生物化学过程有关啊？从现在开始我要好好学一学！

脂肪蓄积的生理机制中，包含两种具有代表性的物质。

脂类　糖类

当所摄取的脂类就那样作为脂肪在身体中蓄积时

当所摄取的糖类变成脂肪时

脂类　糖类

う～

※ 我们把与外界进行物质交换的同时，将体内环境保持在一定水平的生理系统叫做稳定的生理环境 (homeostasis，即恒常性)。

首先，所摄取的脂类会原封不动地作为脂肪在身体中蓄积，

脂类

通常，我们所摄取的脂类会与其他物质结合成我们刚才已经学过的可溶性的“脂蛋白”，然后在身体各个部位循环参与各种代谢。

就是在胆固醇那一节中出现的那个球吧！

但是，如果过多地摄取脂类

多余的脂类就会以“脂肪”的形式在肝脏和脂肪组织中不断地蓄积。

不要！！！

在脂肪蓄积的生理机制中，不可缺少的物质就是“脂蛋白脂酶”。



被运送到血液中的脂类、甘油三酯因为这种酶的作用被水解※生成脂肪酸和甘油，并且被脂肪组织所吸收。

酶是一种非常重要的物质，让我们以后再好好学习它的相关知识吧！
(详细内容见第 4 章)

哦……

酶

※ 水解是指酶利用“水”将物质分解的过程。详细内容请参考 P172。

CHECK!

① 在肝脏中生成的极低密度脂蛋白（VLDL）和在小肠中被吸收合成的乳糜微粒把甘油三酯运送到血液中。

② 在位于脂肪组织的毛细血管的内皮细胞（覆盖在血管内侧表面的细胞）表面，有一种叫做"脂蛋白脂酶"的酶，在这种酶的催化作用下，甘油三酯会被水解生成脂肪酸和甘油。

③ 生成的脂肪酸和甘油被脂肪组织所吸收。

④ 被吸收的脂肪酸和甘油重新合成甘油三酯被贮存起来。





我明白了，摄取过量的甘油三酯就会变成脂肪。

嗯？

那么，如果完全不摄取甘油三酯，

也就是脂类，就不会变胖了吧？

那样的想法过于轻率！在久美喜欢的食品中，不仅含有脂类，还含有很多糖类（碳水化合物）。

薯片

啊，对了！糖类也可以生成脂肪！

如果吃太多的拉面和意大利面，或者过多地摄取糖类，就会长胖。

这都不是因为过多地摄入脂类，而是因为过多地摄入了糖类。

也就是说，如果过多地摄取多余的糖类，

我们身体就会把那些多余的糖类在脂肪组织和肝脏中“转换成脂肪”贮藏起来。

脂类

糖类

代谢

转换为脂类

保持原样

脂肪

多余的糖类

变成了脂肪

在减肥新闻中所记载的要注意碳水化合物和脂肪，原来是这么回事啊！

CuteeE

接着，我要讲解一下由糖类变化成脂肪的结构原理。

糖类

首先，回顾一下柠檬酸循环。

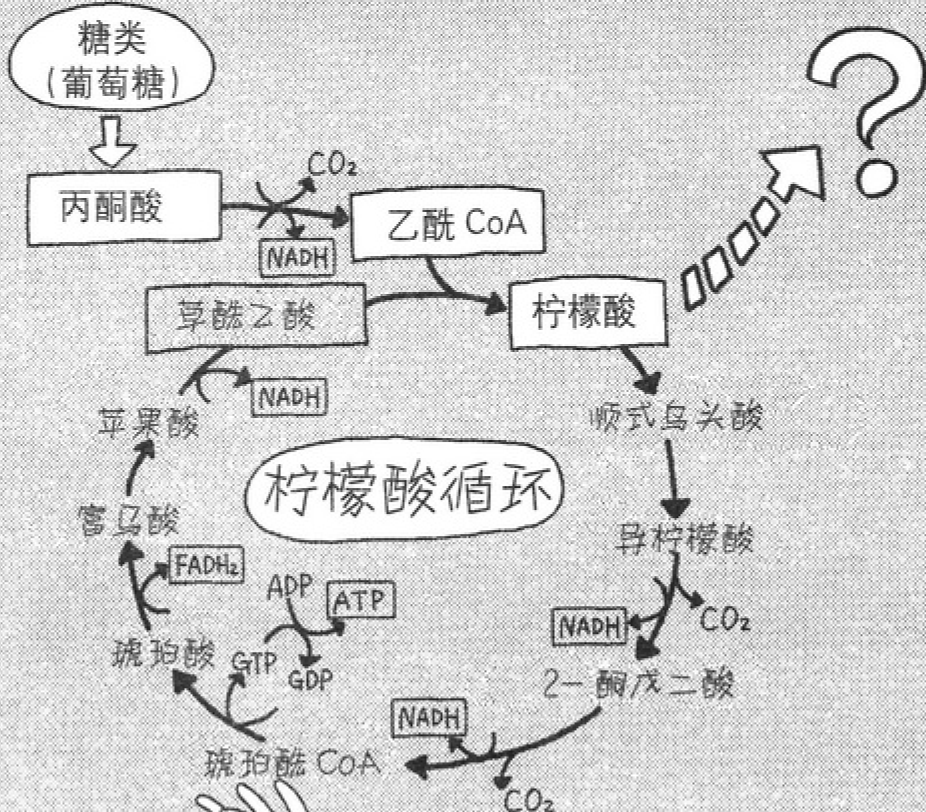
就是那个好像在滴溜溜地转动着的循环吧！

我记得！

是这样的。

成为能量源的糖类在糖解作用的过程中被分解生成丙酮酸。

丙酮酸进入线粒体中，会生成一种叫做乙酰 CoA 的物质。你记得吧？



嗯，嗯！

通常，乙酰 CoA 与草酰乙酸结合在一起会生成柠檬酸。

其实，当过多地摄取糖类时，肝脏和脂肪组织细胞中的柠檬酸并不会进入柠檬酸循环，而是从线粒体中再度回到细胞质中。

请注意部分！

欸！

如果过多地摄取糖类，柠檬酸就会回到细胞质中，于是再度被分解为乙酰 CoA，进而生成一种名叫“丙二酸单酰辅酶 A(malonyl CoA)”的物质。

因为摄取了过多的糖类，所以葡萄糖被分解的反应过程发生了变化。

葡萄糖

丙酮酸

细胞质

乙酰 CoA

柠檬酸

草酰乙酸

线粒体

乙酰 CoA

丙二酸单酰辅酶 A

软脂酸

★ZOOM!

没有进入柠檬酸循环！

啊……

其实“丙二酸单酰辅酶 A”才是合成脂肪酸的原料！

丙二酸单酰辅酶 A 生成后，就直接被合成了脂肪酸。（详细内容见下页）

哇……

并且，与葡萄糖一起构成砂糖（蔗糖）的果糖，



能够在肝脏中促进脂肪酸的合成，这也是引起肥胖的主要原因之一。



砂糖……

过多地……





那么，言归正传，我试着将前面的图 ★ZOOM! 的区域放大。丙二酸单酰辅酶 A 经过几次酶反应后，会被合成一种脂肪酸“软脂酸”。

让我们来看一下详细过程！

●表示除 CoA、ACP 以外的其他分子中的碳原子的数量。

$H_3C-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-SCoA$　乙酰 ACP ●●

↓ CO_2^-

$\overset{CO_2^-}{\underset{|}{}}CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-SCoA$　丙二酸单酰 CoA ●●●

↓ SCoA ← SACP

$\overset{CO_2^-}{\underset{|}{}}CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-SACP$　丙二酸单酰 ACP ●●●

↓ CO_2 ←

乙酰 CoA ●● → ●●

$H_3C-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-SACP$　乙酰乙酰 ACP ●●●●

↓

D-3- 羟丁酰 -ACP ●●●●

↓

trans-2- 丁烯酰 ACP ●●●●

↓

$H_3C-CH_2-CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-SACP$　丁酰 ACP ●●●●

反复 6 次（每次各有 2 个碳原子结合在一起）

+ ●● ×12

↓

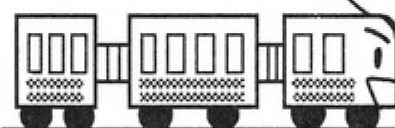
$H_3C-CH_2-(CH_2)_{13}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-SACP$　软脂酰 ACP ●●●●●●●●●●●●●●●●

↓ SACP ←

$H_3C-CH_2-(CH_2)_{13}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O^-$　软脂酸 ●●●●●●●●●●●●●●●●

丙二酸单酰辅酶 A※ 一旦产生，就会转变成脂肪酸，这中途也不停止啊！





变成脂肪酸

※ 丙二酸单酰 CoA（丙二酸单酰辅酶 A）的生成合成反应是脂肪酸合成的律速反应。也就是说，根据其反应速度来决定脂肪酸生成合成的反应速度。

当脂肪作为能量源被利用时



我明白脂肪生成的原理了。
那么，生成的脂肪如何才能够除去呢？

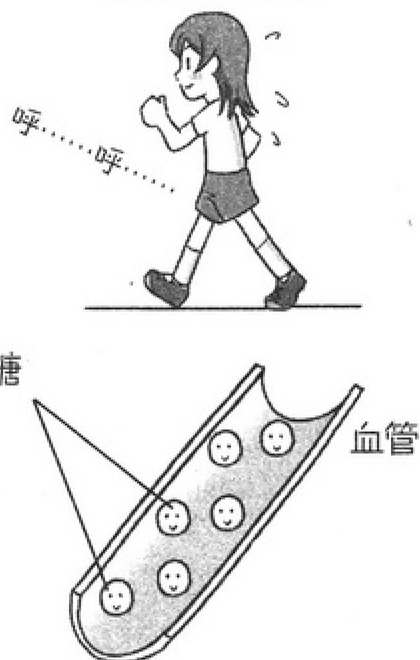


要想消除肥胖，只能不断地利用身体中贮存的脂肪。脂肪如何才能被消耗掉呢？
在此必须要记住一点：当有糖类和脂类时，糖类会优先被作为能量源利用。

如果摄取糖类和脂类多的食物，摄食后血糖值会升高，糖类将优先被利用于生产能量，脂类会循环到脂肪组织中被储藏起来。



不过，当糖类被用光后，血糖值就会逐渐降低，这样脂类就作为能量源开始被利用。
简单地说，当我们肚子饿得咕咕直叫时，就应该是脂类作为能量源在被利用的时候了。



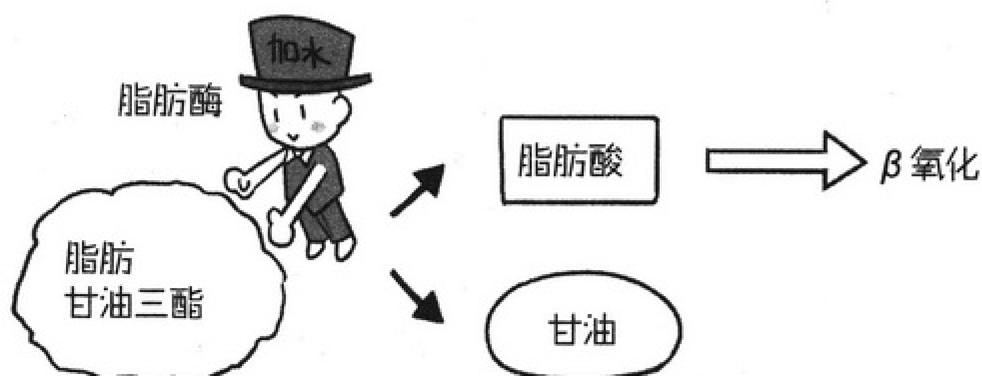




啊！因此，我们最好长时间地连续步行。

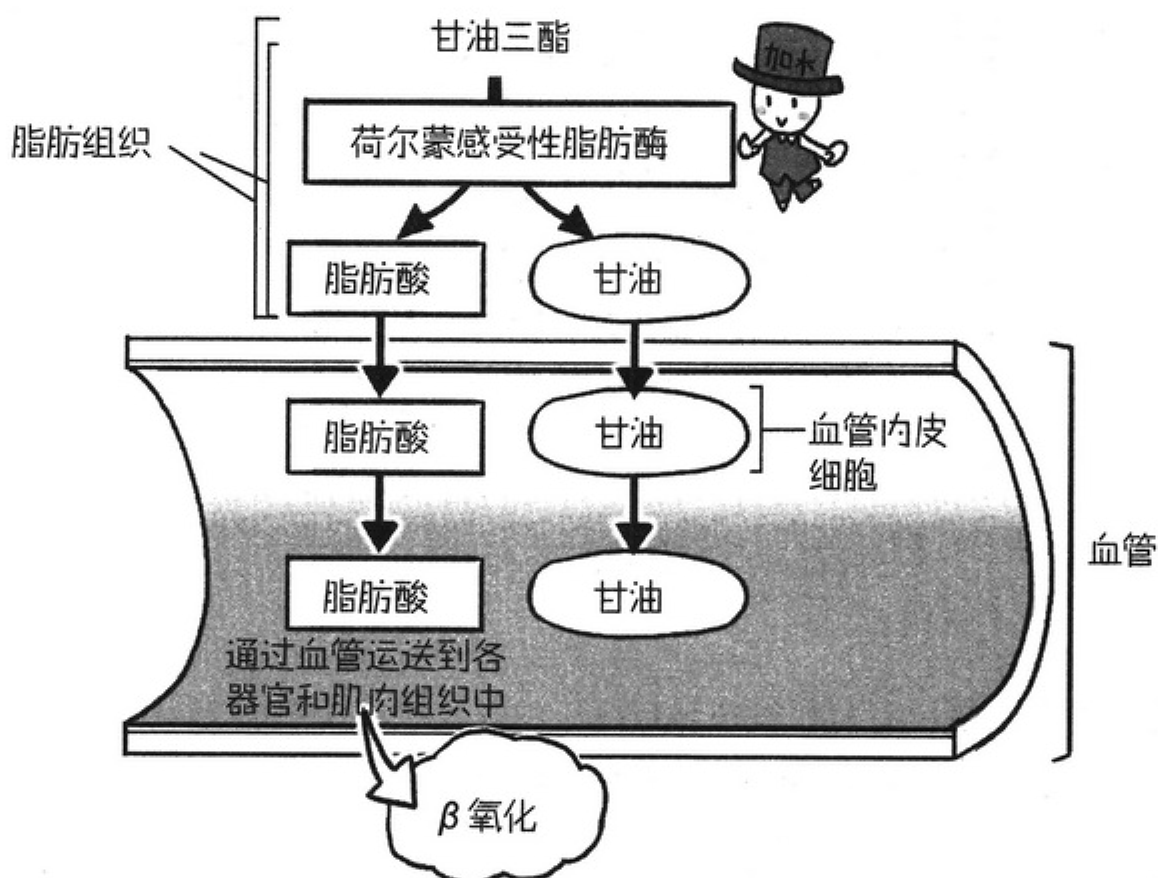


那么，这时脂肪会如何代谢呢？
脂肪组织中的脂肪也就是“甘油三酯”，首先会在脂肪组织中的水解酶（荷尔蒙感受性脂肪酶※）的作用下，被分解成“脂肪酸”和“甘油”。





脂肪酸被释放到血液中后，再被运送到身体的各个器官组织和肌肉组织中，然后参与化学反应受到“β氧化”。



※“荷尔蒙感受性脂肪酶”与在P112中出现过的“脂蛋白脂酶”不同。



这里的“β 氧化”到底是什么？



接着我们将要详细地讲解一下 β 氧化。首先，请看这个图。

细胞质

脂肪酸

脂酰 CoA

脂酰肉毒碱

8 分子的乙酰 CoA

软脂酸（C_{16}）

这个过程会反复进行几次

线粒体

再度生成脂酰 CoA

CoA

碳原子数量少两个的脂酰 CoA

乙酰 CoA

柠檬酸

柠檬酸循环

β 氧化的过程



通过 β 氧化，脂肪酸变成了“乙酰 CoA”。
乙酰 CoA 刚才也出现过。（请参考 P115）



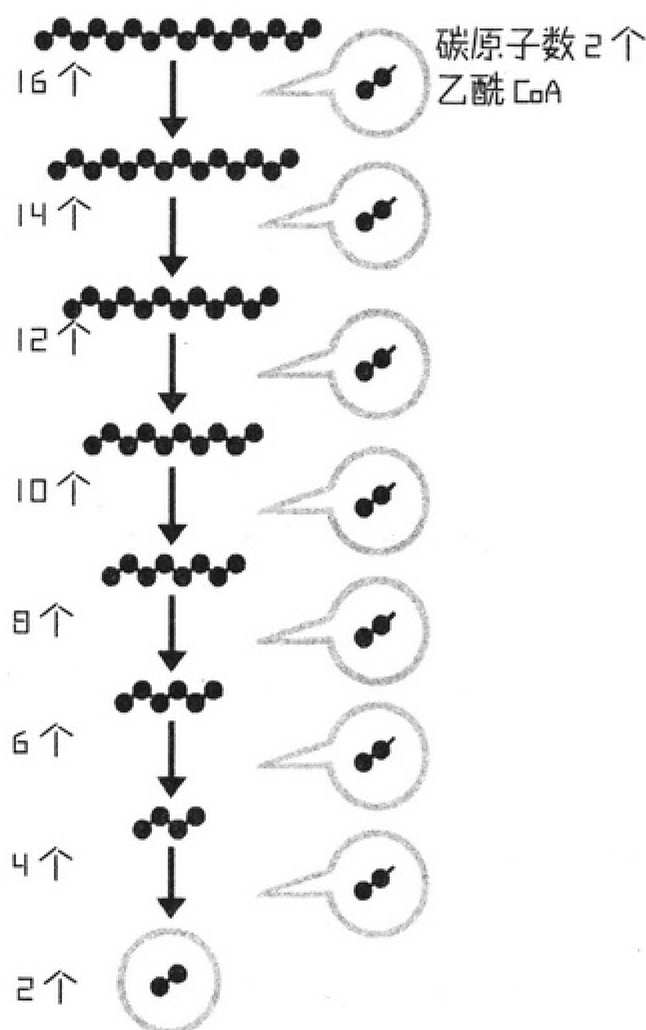
该物质是在柠檬酸循环的最初阶段产生的吧？



没错！被细胞所吸收的脂肪酸在细胞质中转换成“脂酰肉毒碱”后进入线粒体中，然后在线粒体中被分解成乙酰 CoA。

脂肪酸有十几个碳原子，乙酰 CoA 有两个碳原子。
脂肪酸（准确地说是如图在线粒体中生成的脂酰 CoA）经过 β 氧化，分解出 1 分子的乙酰 CoA（也就是有 2 个碳原子）。因为与 CoA 一端连接的第二个碳原子的位置叫做“β 位”，所以这个反应过程被称为“β 氧化”。

这个反应过程会反复进行多次，最后脂肪酸中的所有碳原子都会转化成乙酰 CoA。例如，下图中，当脂肪酸为含有 16 个碳原子的软脂酸时：





β 氧化反复循环 7 次，就能够生成 8 分子的乙酰 CoA。



对！并且生成的乙酰 CoA 会直接进入柠檬酸循环，最终 ATP 就会被合成出来。



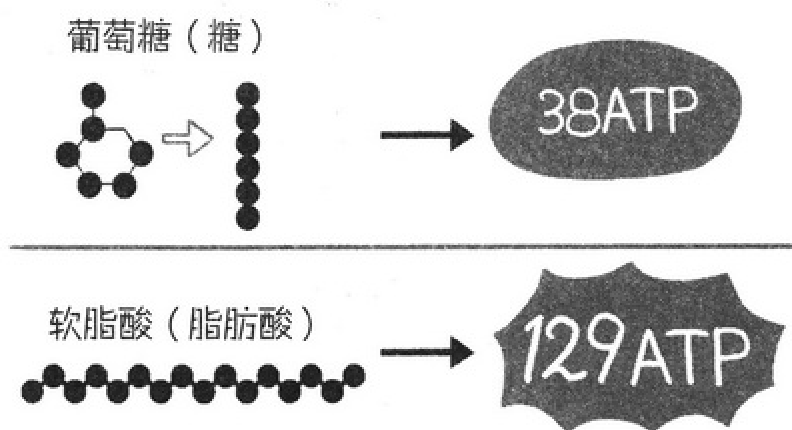
原来在燃烧脂肪减肥时，体内正在这样进行脂肪代谢啊！



刚才在脂肪酸合成过程中，由丙二酸单酰 CoA 生成了软脂酸。
软脂酸被分解后，最终通过 TCA 循环、电子传递链总共生成 129 分子的 ATP。



哦！那么，1 个葡萄糖分子能够生产 38 分子的 ATP 吧？软脂酸竟然能够生成 129 分子的 ATP，太多了！





嗯。也就是说，脂肪酸是非常有效的能量贮存物质。



呜呜。如果反过来思考的话，如果不把这么多的能量用完的话，脂肪就不能减少……
从化学角度来看，原来减肥真的是有难度啊！

谜题 2　为什么吃得过多就会长胖？



- 如果消费的能量比摄取的能量少，身体就会将多余的能量以“脂肪”的形式储存起来。
- 生成脂肪的途径有两种：一种是摄取的脂类即甘油三酯直接作为脂肪被储存，另一种就是糖类转换为脂肪。
- 脂肪是有效的能量贮存物质。





3. 血型是什么东西?

血 型



第 3 个谜题是：血型是什么东西？
我感觉很有意思。



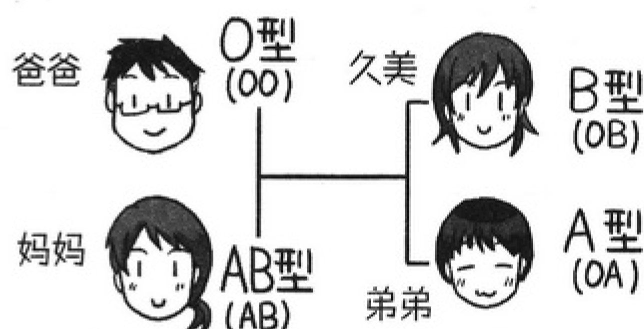
撇开科学和非科学的观念，有时我也觉得通过血型可以分析出一个人的性格类型。血型占卜与性格诊断等就是很好的例子。



通常都认为 A 型血的人很认真。
我就是性格比较自我的 B 型血！
我爸爸是性格比较豁达开朗的 O 型，妈妈是性格纤细的 AB 型血。

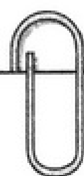


嗯。O 型血和 AB 型血的夫妇所生的孩子既不会是 O 型血也不会是 AB 型血，而应该是 A 型血或者 B 型血。因此，如果久美有兄弟的话，你的兄弟也应该是 A 型血或者 B 型血。





如果我有一个弟弟是 A 型血的话，那么我们家 4 种不同的血型都占全了。
真是太不可思议了。有时是一家人，血型却完全不同，有时性格完全不同但血型却相同！
血型到底什么呢？嗯……



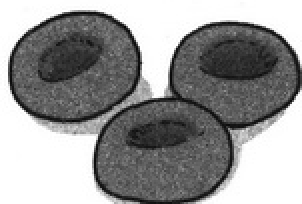
决定血型的是红细胞表面的糖分子



久美在校学习过红细胞的相关知识吧？



嗯！是血液中大量含有的、使血液呈红色的细胞。像这样的形状……





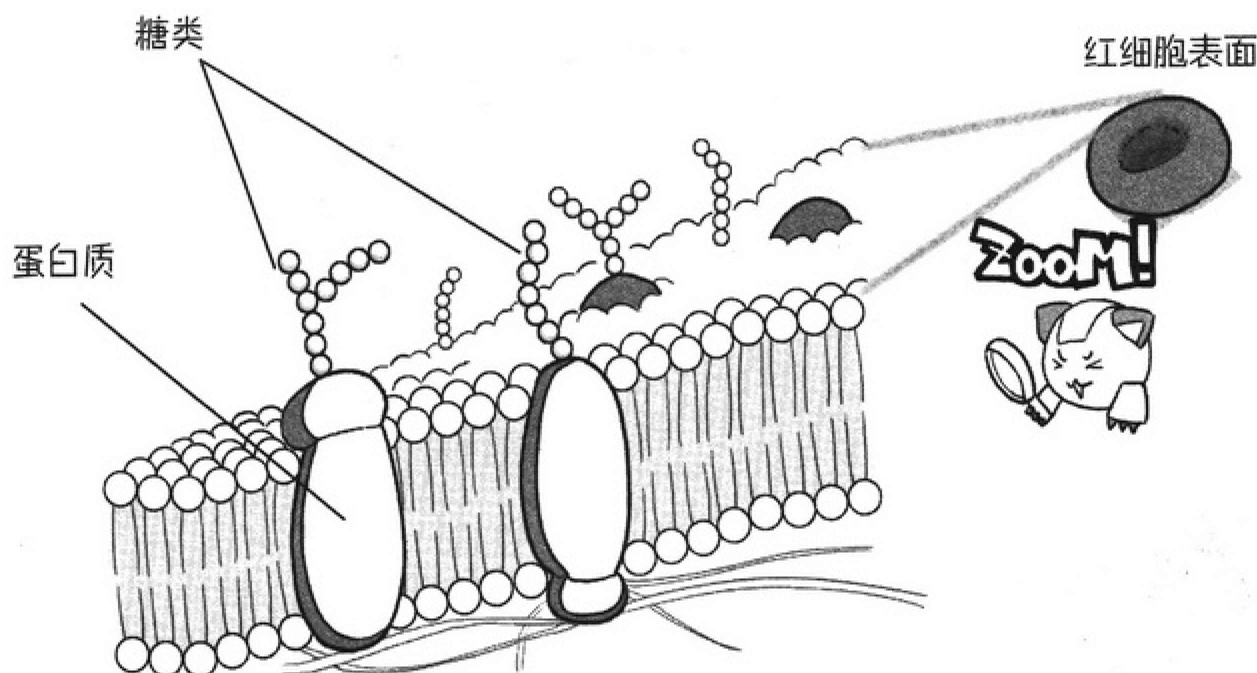
对！其实，血型就是由红细胞表面所突出的“糖类”的种类决定的。实际上许多含有红细胞的细胞的表面覆盖着由糖类分子所构成的“糖衣（glycocalyx）”。



啊？这里也会涉及糖类！那么，那个糖衣到底是……

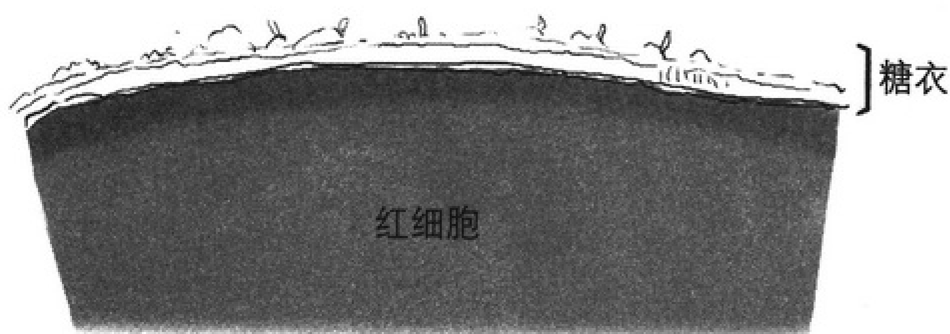


我们已经学过了细胞膜是以磷脂为主要成分的“脂质双层膜”吧？在细胞膜内，到处都嵌入了蛋白质，在蛋白质外侧的表面有很多“糖类”的分子连接在一起，并且在脂质双层膜内到处都含有“糖脂”，这些糖类分子聚集在一起就构成了“糖衣”。





糖类突出来聚集在一起形成了糖衣。
就像毛毯和毛巾的毛聚集起来使其表面看起来非常蓬松一样。





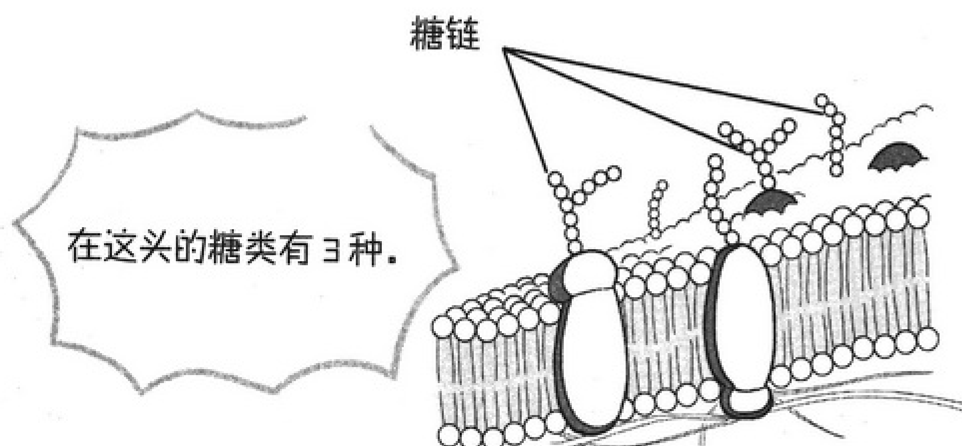
是啊。不过，“血型”其实有 100 多种。其中在 1900 年由美国免疫学家卡尔 . 兰德斯坦纳(Karl Landsteiner)发现的“*ABO* 式血型”比较普遍。



ABO 式血型就是指我们所说的 A 型、B 型、AB 型、O 型吧。



ABO 式血型是由红细胞表面的 3 种糖类分子决定的。并且这些糖分子组合成由多个单糖分别连接起来的糖链。



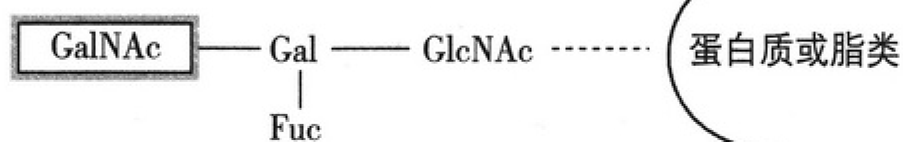


那些突出的东西有 3 种啊。

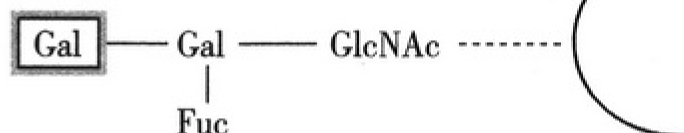


我们来详细看一下那 3 种血型的不同之处。请看如下最左端部分，它们的头部各有不同之处。

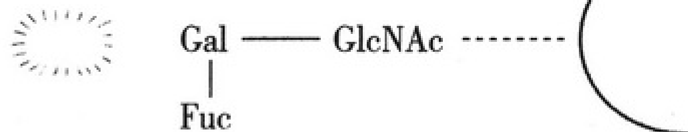
A 型人：糖链的头部为“GalNAc”



B 型人：糖链的头部为“Gal”



O 型人：糖链没有头部



糖的名称

GalNAc：N- 乙酰半乳糖胺（N-acetylgalactosamine）
Gal: 半乳糖（galactose）
Fuc：岩藻糖 (fucose)
GlcNAc：N- 乙酰葡萄糖胺（N-acetylglucosamine）



原来这 3 种就是 A 型、B 型、O 型啊！



对！
AB 型血的人既带有 A 型血的糖链，又带有 B 型血的糖链。



哇！血型会因为这个糖链的不同而不同，真是奇妙啊！



那么，为什么有的人会是 A 型血，有的人是 5 型血呢?
决定人的血型的到底是“谁”?
感觉越来越深奥了哦!



嗯,简单地说,决定人的血型的是某种“基因”以及由此基因产生的“酶”。
(详细内容请参考 P169。“血型基因”的真实身份就是“糖转移酶”。)



酶!?在讲解脂肪的相关原理时就出现过吧。
嗯。酶真的是重要的物质啊。



关于酶的知识，我们还是让黑坂老师以后再给我们好好讲讲。



好的!
让我们言归正传!那个“糖链”不同会影响性格吗?
到底会怎么样?到底会怎么样?我很想知道!



嗯。决定糖链和血型的基因会对神经细胞产生一些影响。至于说会对“性格”产生一些影响还要另当别论，因为目前尚未发现那样的事实。



原来如此啊!那么，现在的那些血型占卜与性格诊断都是没有科学根据的啰。我感觉有点失望又有点放心……

谜题 3　血型是什么东西？



@ 我们所提及的 4 种血型都是“ABO 式血型”。

@ “ABO 式血型”是根据红细胞表面不同的“糖链”来分类的。

@ 目前并未发现“糖链”的不同会影响到性格的事实。因此，血型占卜与性格诊断都是没有科学根据的。









4. 为什么水果会变甜?

为什么水果是甜的?



第 4 个谜题是为什么水果会变甜……
是吧?
正好我家有梨!
嗯，成熟后很甜很好吃!





这梨确实很好吃!
不仅是梨，像橘子、葡萄之类的水果、还有甜瓜、西瓜之类的瓜果类也是成熟了才好吃。



确实是那样! 就说橘子吧，还未成熟时很酸，但是熟透后就会变软而且是甜的。
之前，根本君拿过来的甜瓜吃着正合适，那个也很熟了!

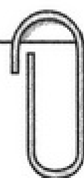


嗯。但是“熟”在生物化学中是指什么状态呢? 在此，让我们以“甜度”为焦点来解释说明一下吧!

成熟的水果为什么是甜的呢?
这是因为在果实中含有 3 种丰富的糖类,即“蔗糖(就是砂糖)”、“果糖”、还有“葡萄糖”。



水果中所含的糖类不只是果糖啊!
竟然含有 3 种糖类!



单糖•低聚糖（寡糖）•多糖



之前我们曾提及过蔗糖（sucrose）、葡萄糖（glucose）、果糖（fructose），它们的分子结构式是不同的，对吧？（详细内容请参考 *P*63）



嗯！糖包含许多种。

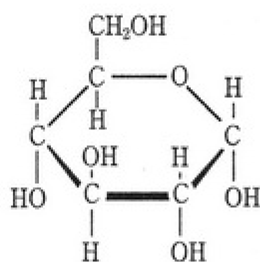
因为我喜欢点心、水果、米饭，所以我很想了解有关糖类的知识。



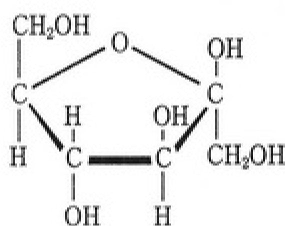
那我们就来学习一下有关糖类的知识。

糖类的基本单位是一种被叫做“单糖”的物质，它由五六个碳原子连接而成。葡萄糖以及果糖就是由 6 个碳原子构成的单糖。两个以及两个以上的单糖分子结合在一起，会形成“低聚糖（寡糖）”。

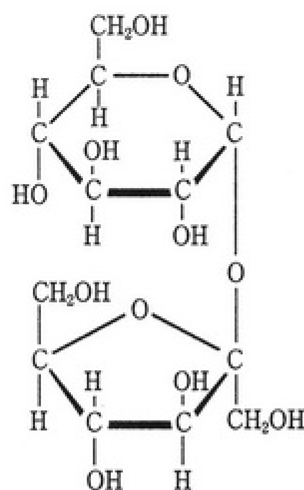
蔗糖在低聚糖中是由 2 个单糖分子组成的，所以也被叫做“二糖”。这就是它们各自的结构。



葡萄糖



果 糖



蔗 糖



蔗糖是由 1 个葡萄糖分子和 1 个果糖分子连接而成的啊！



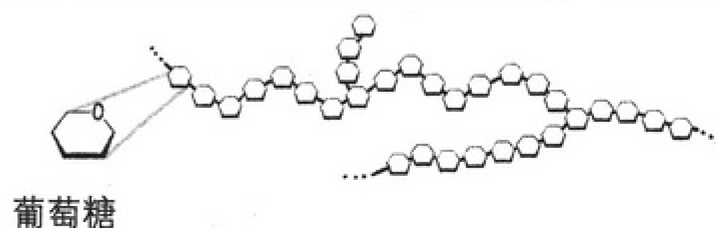
有的糖类是由更多的单糖结合而成的，它们的分子结构有的非常长，有的会有很多复杂的分支，我们将这样的糖类叫做“多糖”。
在我们身边具有代表性的多糖都有哪些？你知道吗？



啊！这就是我之前想问的问题。米饭里含有糖吧？
在大米和薯类中含有丰富的糖，那就是淀粉。



对！淀粉是由很多单糖中的“葡萄糖”分子连接而成的。淀粉是把植物光合作用中所产生的葡萄糖分子大量地连接在一起并贮存起来而形成的。

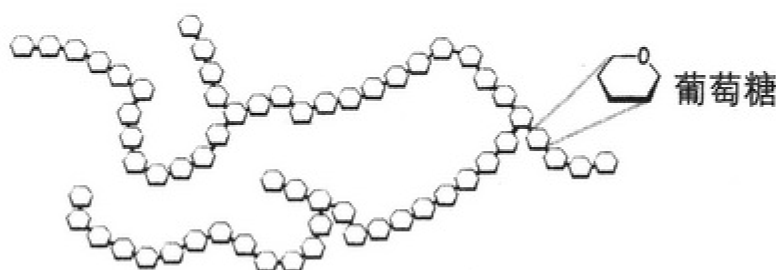


淀　粉

其实，在我们动物体内，也有像淀粉那样的“贮存物质”。那就是一种叫做糖原（glycogen）的物质，它主要存在于肝脏和肌肉细胞中，把动物体内多余的葡萄糖连接在一起贮存起来，是动物体内糖的贮存形式。当机体需要葡萄糖时它可以迅速被动用以供急需。



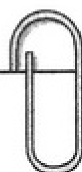
在讲胰岛素时出现过吧。真的是由葡萄糖连接而成的。



糖　原



多糖中还包括纤维素（cellulose）、甲壳素（chitin）之类的物质。其中纤维素是覆盖在植物细胞表面的细胞壁的主要成分，甲壳素是虾、螃蟹等甲壳类动物的硬壳的主要成分。



水果变甜的原理



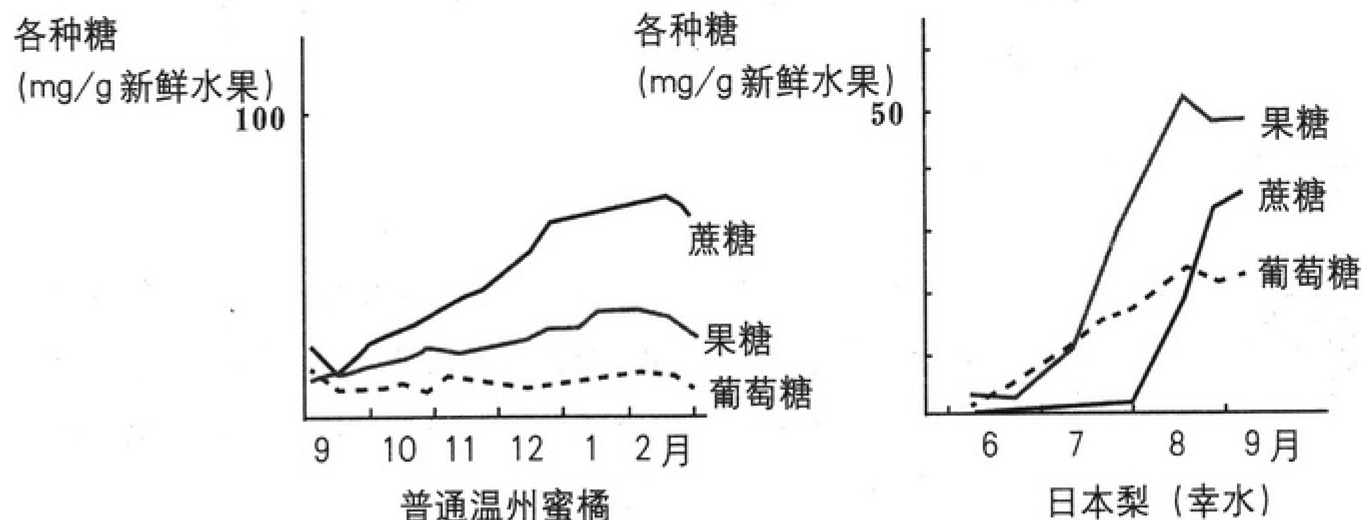
让我们回到水果的话题上来吧！像橘子那样的水果和像甜瓜那样的蔬果成熟得越好，其甜味就越足，越好吃。这是为什么?



嗯。我现在突然想到在超市买草莓和橘子时，有时标签上面写着“含糖量 11% ~ 12%”。
水果成熟后会很甜是不是糖分增加了呢?
从生物化学的角度来看，糖类会发生一些变化吗?



好！那么，我们就从以前学过的有关“糖类”的观点出发，来思考一下这其中的原理。请看下图。
通常像橘子之类的“柑橘类”，在未成熟时，果实中所含的葡萄糖(glucose)、果糖(*fructose*)、蔗糖(sucrose)的含量大致相同，但是随着果实慢慢成熟，其中的“蔗糖”含量会逐渐增加。



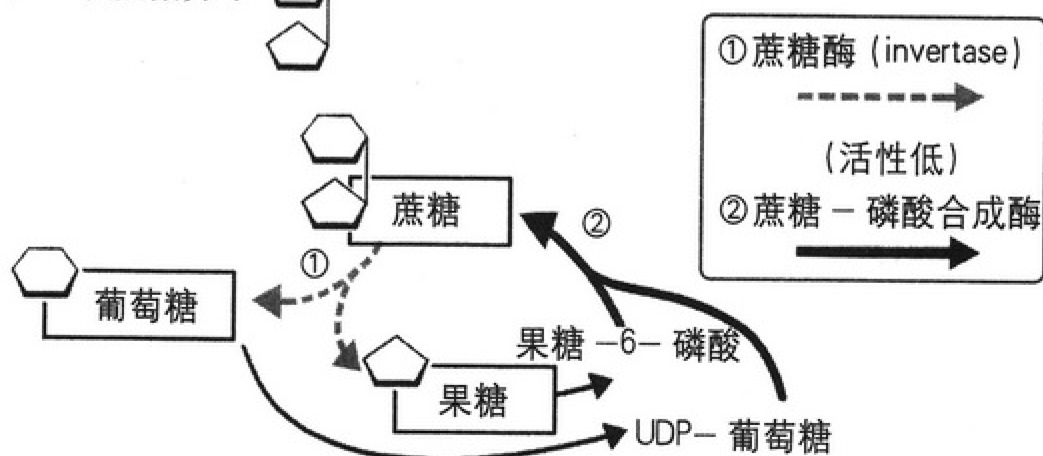
资料来源：伊藤三郎编，《水果的科学》，朝仓书店（1991）



这是因为随着果实慢慢成熟，果实中合成蔗糖的“蔗糖磷酸合成酶”的活性会增强，与此同时分解蔗糖的“蔗糖酶（又称转换酶）”的活性会降低。



我明白了，1个葡萄糖分子⬠和1个果糖分子⬠相结合就形成了一个蔗糖分子





不过，在我印象中酶具有去除衣物上污渍的功效，它竟然还有这样的作用。（关于酶，将在第4章详细讲解）



另外，葡萄糖、果糖以及蔗糖分别都有不同的“甜度”，按照由强到弱的顺序来排列的话，甜度最强的是果糖，接着是蔗糖，然后是葡萄糖。





啊……



因此，果糖和蔗糖越多，其果实就会越甜。如果是柑橘类，到了冬季当其果实成熟后，蔗糖的含量就会增加，那时就可以收获又甜又好吃的蜜橘。蔷薇科中的梨类，其果实未成熟和成熟后的差别更加显著，当其果实成熟后，果实中的果糖和蔗糖会一下子增加很多。

并且，“甜瓜”的“甜度”基本上取决于其蔗糖的含量，一些甜度很高的品种中，其果实所含的蔗糖尤其多。



看了一下前面一页的图，随着果实中的果糖和蔗糖慢慢增加，果实就会进入收获期，它就会变得很甜！这就是所谓的“熟”！

谜题 4 为什么水果会变甜？

- 在水果中含有 3 种有甜味的糖类，它们分别是蔗糖(sucrose)、果糖(fructose)、葡萄糖(glucose)。
- 随着水果慢慢成熟，果实中的酶就会越来越活跃，3 种糖类的含量就会发生变化。
- 果糖和蔗糖比葡萄糖甜。
  随着果糖和蔗糖含量的增加，水果就会变甜。



※ 实际上，山梨糖醇和木糖醇、有机酸等物质也会影响到水果的甜度、酸度。

5. 为什么年糕是黏乎乎的?

普通大米和糯米的不同之处



最后的谜题是为什么年糕是黏乎乎的?
我非常喜欢吃年糕！好想知道答案啊！





久美你知道年糕的做法吗?
年糕不是用普通的大米、粳米做的，而是用糯米做的。

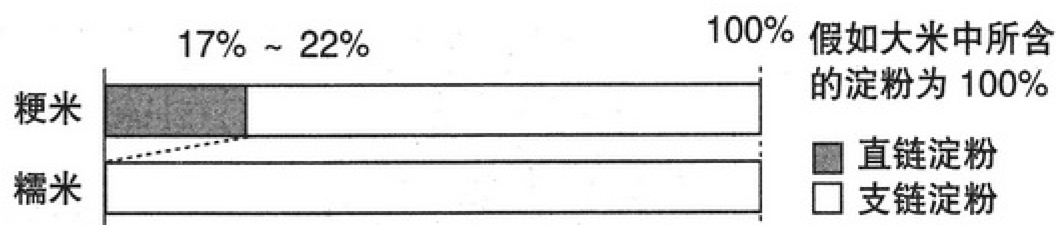


我知道！
因为我曾经捣过年糕。
但是，为什么糯米比普通的米有黏性呢?



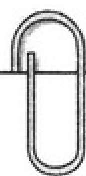
那是因为大米中所含淀粉的结构不同。
大米中 75% 都是淀粉，也就是说淀粉的性质会影响大米的硬度和柔软度。

如下图所示，普通的大米也就是粳米中的淀粉包括“直链淀粉”和“支链淀粉（胶淀粉）”。普通大米淀粉中有 17% ~ 22% 是直链淀粉，剩下的都是支链淀粉。





但是，糯米中不含有直链淀粉，只含有支链淀粉。

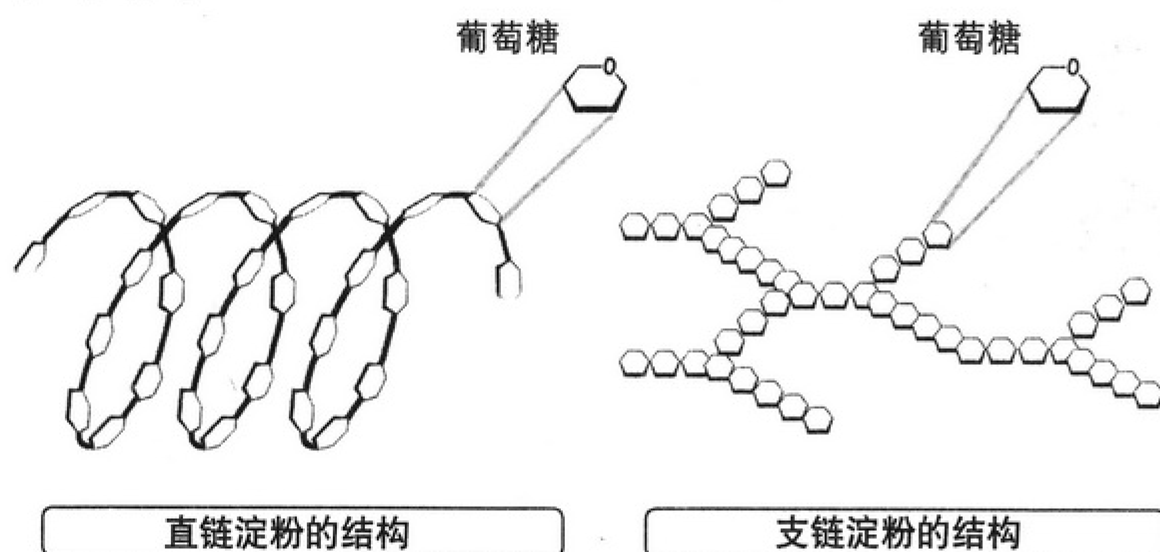




啊！看一下图就明白它们的不同之处了。



其实直链淀粉和支链淀粉的成分都是葡萄糖。是葡萄糖连接在一起形成了“多糖”。





也就是说它们的材料都是一样的。

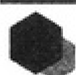


那么,它们到底有何不同,实际上就是看那些葡萄糖是怎样连接成多糖的,也就是说葡萄糖的“连接方式”不一样。

在此，我们将解开关于单糖在构成多糖和低聚糖时“连接方式”的谜题。



哦！那个连接方式中应该隐藏着糯米呈黏性的奥妙吧！



直链淀粉和支链淀粉的不同之处



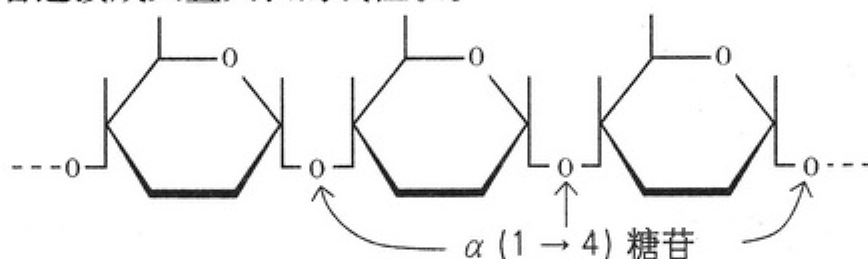
虽然它们的主要成分都是葡萄糖，但是那些葡萄糖单体的连接方式不同。简单地说，直链淀粉的葡萄糖单体链是“直的”，支链淀粉的葡萄糖单体链有“分支”。



啊？直的？有分支？嗯，很难想象啊……



直链淀粉中的葡萄糖单体以“$\alpha(1 \rightarrow 4)$ 糖苷键”连接在一起，这些葡萄糖单体横着连接成又直又长的线性状。



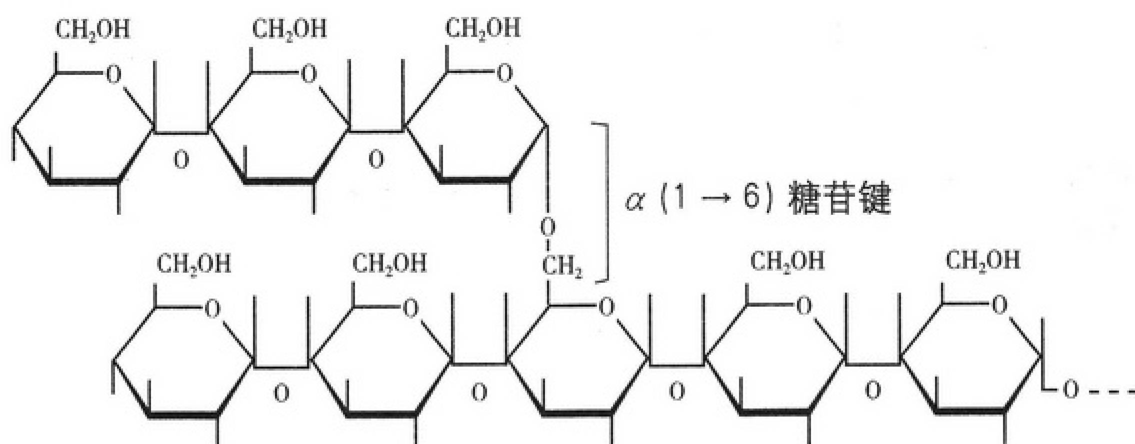
直链淀粉



啲！确实是笔直地横着连接起来的……



但是，在支链淀粉中，葡萄糖单体不仅以 $\alpha(1 \rightarrow 4)$ 糖苷键连接，而且也可以通过 $\alpha(1 \rightarrow 6)$ 糖苷键连接，到处存在着一个葡萄糖单体和另外葡萄糖单体的一部分相连的部分。



支链淀粉



哦！可以纵向连接！如果以这样的连接方式，确实会形成很多分支，比直链要复杂多了！



如果有 $\alpha(1 \rightarrow 6)$ 糖苷键，葡萄糖链就会在那里分支。因此支链淀粉具有分支结构。

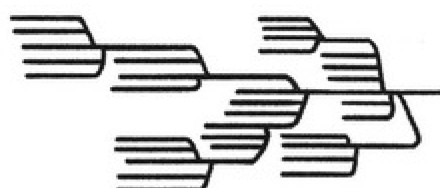


嗯。我知道直链淀粉和支链淀粉结构的不同之处了。



因为具有这样的分支结构，所以如果远看直链淀粉的话，就像麦穗的形状一样。

也就是说，支链淀粉是一种呈穗子状的大分子多糖。





支链淀粉　　　直链淀粉

由具有这样特点的支链淀粉所构成的糯米在煮熟后就会有很强的黏性，就会产生黏乎乎的感觉。



如果把直线状的东西和麦穗状的东西比较的话，麦穗状的东西有弹性有黏度，就会显得黏乎乎的。

这就是年糕黏乎乎的原因。



同时，粳米也会因为其所含直链淀粉的分量的不同，其黏性会发生变化。

α（1→4）和 α（1→6）中的数字是什么意思？



正好，借此机会我们事先学习一下 $\alpha(1\rightarrow4)$ 和 $\alpha(1\rightarrow6)$ 中所含数字的意思。



就是刚才 $\alpha(1\rightarrow4)$ 糖苷键、$\alpha(1\rightarrow6)$ 糖苷键中的数字吧！我不明白它们的意思，我还以为它们没有什么特别明确的意思呢。



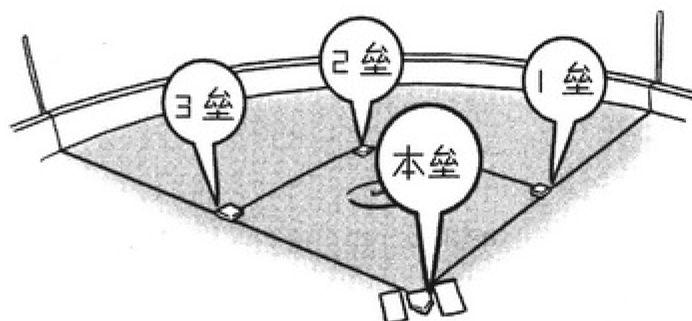
顺便问一下，久美，你喜欢棒球吗？



我爸爸喜欢棒球，他经常要看电视上棒球比赛的直播，但是我……



那我就大概讲一下吧，棒球中的“垒”都带有 1 垒、2 垒、3 垒这样的号数，这样解说起来才方便。



如果不带这些序号，播音员只能解说成“请看接球手最左边的垒”……这样说很难让人明白，三垒打只能解说为“请看接球手最左边的垒打”，这样的话，播音员和观众都会觉得很麻烦。



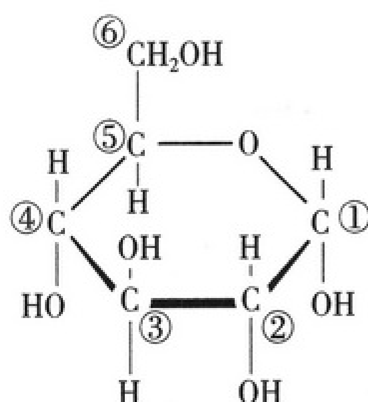
嗯。看来实况播音员也不好当啊！



我们学习过在葡萄糖和果糖分子中含有 6 个碳原子吧。
实际上，这些碳原子和垒一样，也都带有号数。因此，我们用起来才会很方便。



请看下图中的碳原子 C。这是葡萄糖的环状结构，在其碳原子 C 上附上了从 1 到 6 的号数。



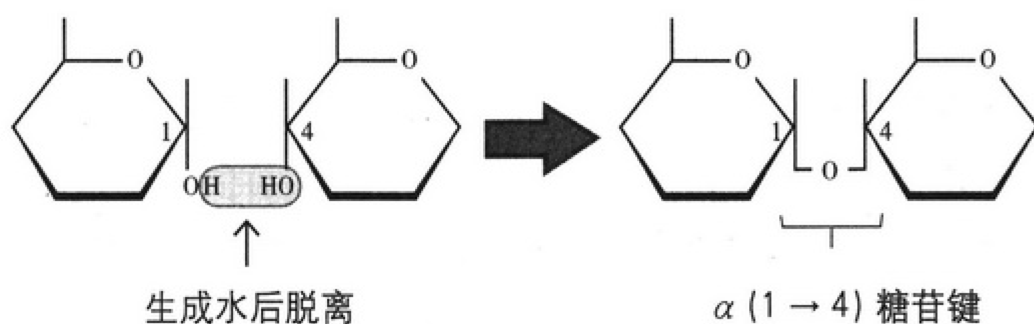


啊，我明白了！

$\alpha(1 \rightarrow 4)$ 糖苷键、$\alpha(1 \rightarrow 6)$ 糖苷键中的数字实际上代表了碳原子的号数。



没错！也就是说 $\alpha(1 \rightarrow 4)$ 糖苷键是指某个葡萄糖单体的第 1 个碳原子与邻近的葡萄糖单体的第 4 个碳原子通过“糖苷键”结合在了一起。





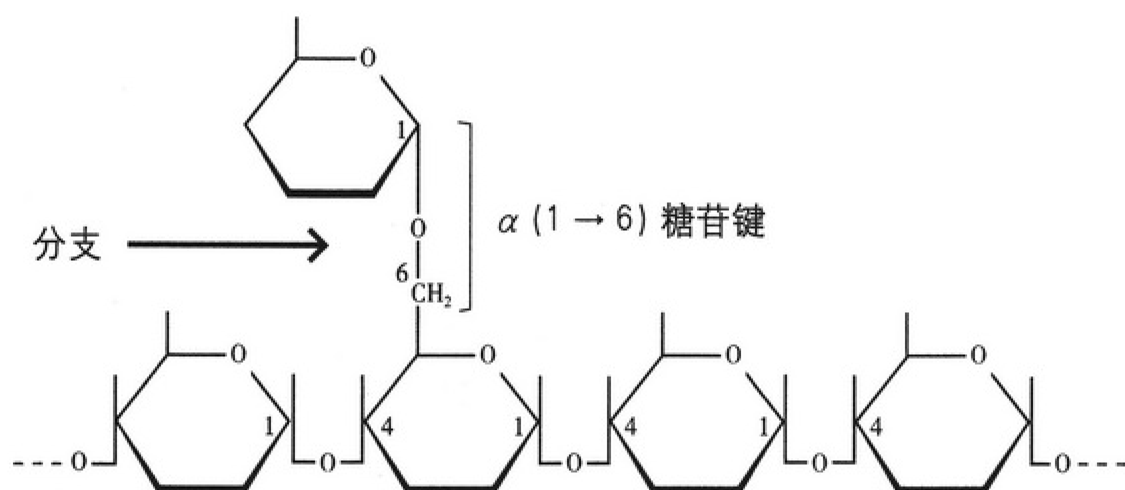
嗯。那么同样 $\alpha(1 \rightarrow 6)$ 糖苷键是指某个葡萄糖单体的第 1 个碳原子与邻近的葡萄糖单体的第 6 个碳原子通过“糖苷键”结合在一起吧？



嗯。但是，实际上第 1 个碳原子和第 6 个碳原子结合时，是不可能横着连成直线状的。



如图怎么也得稍微偏移一点，纵向连接出一条分支。





啊，所以在这部分会产生“分支”。

也是因为这个缘故，年糕才会有黏乎乎的感觉。



不过，在同样以葡萄糖为主要成分的键中，还有另外一种键，叫做 β（1 → 4）糖苷键。



嗯？ β（1 → 4）糖苷键是怎样连接的？



葡萄糖单体以 β（1 → 4）糖苷键连接起来，不会形成淀粉，而是形成一种名叫“纤维素”的多糖。

纤维素是构成植物细胞壁的主要成分，是食物纤维中的典型代表。



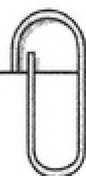
我知道。在减肥杂志上看到过。好像食物纤维很难通过细胞壁，难以被身体消化吸收掉，一般就直接被排出来了。



嗯。但是在食物纤维中也有像半纤维素、果胶那样易溶于水的物质，这些都容易被身体消化。



啊！那它也可以为我们提供能量？





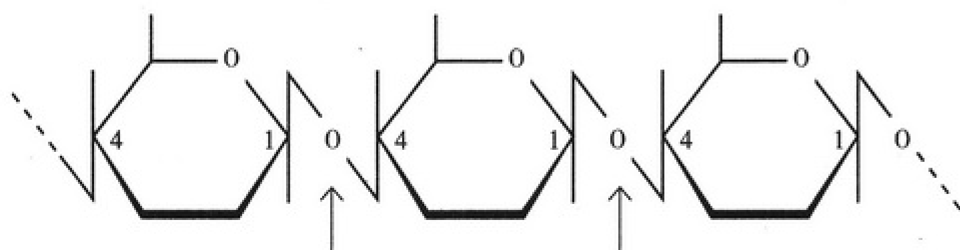
对！并不是说食物纤维中的所有物质都很难被消化掉。
那么，我们将话题回到纤维素上来吧。我们口内唾液所含的酶中，有一种叫做α–淀粉酶的物质，α–淀粉酶能够分解大米中的淀粉。
但是，α–淀粉酶不能分解纤维素。



为什么呢？



那么，请看下图所示的β(1→4)糖苷键。



β (1 → 4) 糖苷键



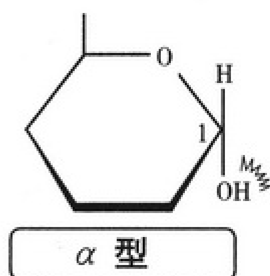
啊？连接的部位不一样呀！构成了像N一样的形状。

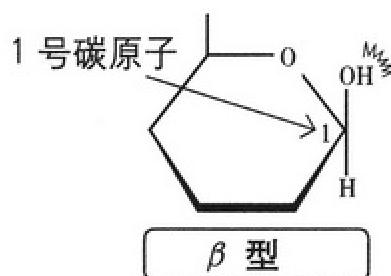


要问它与α（1→4）糖苷键有什么不同之处，那就是与左侧的葡萄糖单体的第1个碳原子相连接的氢原子(H)和羟基(–OH)的位置上下颠倒了，这是一种有点强人所难的结合方式。



嗯，β先生确实有些失礼了，是一种让人感到别扭的连接方式啊。



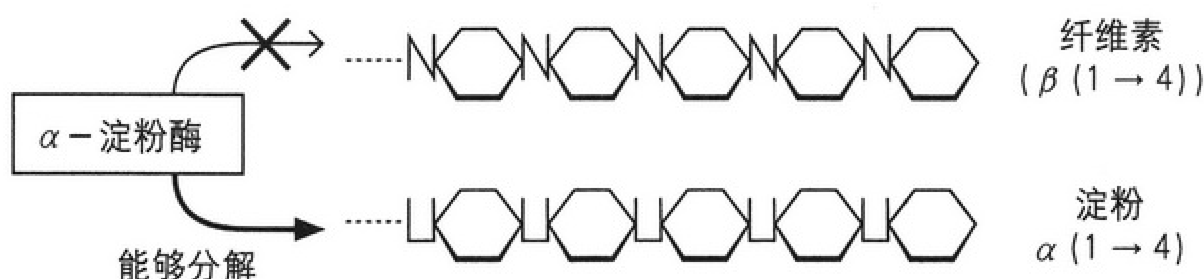




α、β这样的文字是这样产生的，如上图所示，当与1号碳原子相连接的羟基（–OH）位于下方时，我们将之称做“α型”，当与1号碳原子相连接的羟基（–OH）位于上方时，我们将之称做“β型”。



实际上只因为它们的结构不一样，所以能够分解 α（1 → 4）糖苷键的 α-淀粉酶不能分解 β（1 → 4）糖苷键。



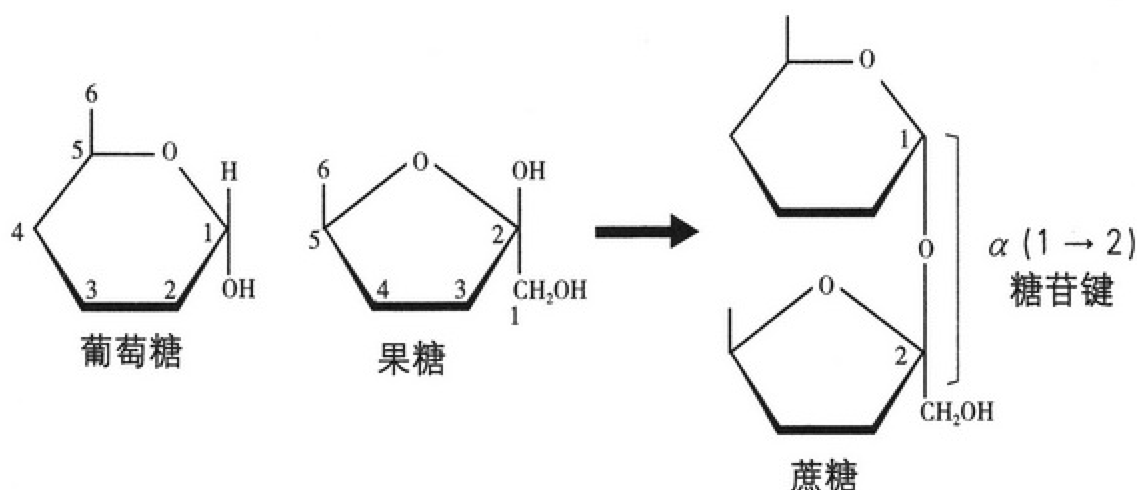


哇！那种让人感觉到别扭的连接方式竟然能产生如此效果啊。



所以以 β（1 → 4）糖苷键结合而成的纤维素不能被人类的消化器官所消化，正因为如此，“食物纤维”才能发挥它应有的功效。

哦，对了。我们刚才在水果谜题中曾经讲过有关低聚糖和蔗糖的知识。我之前已经说明过，蔗糖是由一个葡萄糖和一个果糖连接而成的。其形状像这样，葡萄糖的 1 号碳原子和果糖的 2 号碳原子连接在一起。





原来如此啊！蔗糖是由 α（1 → 2）糖苷键连接而成的！



对！这样，知道单糖的连接方式后，就知道其构成的多糖和低聚糖的性质了。

谜题 5　为什么年糕黏乎乎的？



- 年糕黏乎乎的奥妙在糯米的淀粉结构中。
- 糯米淀粉中不含直链淀粉，只含有支链淀粉。
- 支链淀粉是由 α(1 → 6) 糖苷键结合而成的，有分支结构，是一种呈麦穗状的大分子多糖。就是因为这个麦穗状的分支结构，才会产生黏乎乎的感觉。

不仅是年糕哦，关于食物纤维中的纤维素和蔗糖的连接方式，你弄懂了吗？

嗯。我已经明白 α(1 → 4) 和 α(1 → 6) 的意思啦。

下次，我看棒球节目时就自然会想到这些。

呵呵

哈哈


生物化学
秘
笔记

那么，到此所有的谜题都解开了吧？
嗯！
太好了！
今天好快乐啊，我也学到了不少东西……
还可以和久美在一起……
和黑坂老师比，我可能还差了些，但是……
念念有词
才不是呢！
你讲得很容易懂，还非常有趣！
而且，根本君……
ん？

你非常可靠！



不，不

那个，那个……

カーーッ

キリッ

啊，我要赶紧总结一下报告！

トン

生物化学

秘

坂研究室

那两个家伙现在怎么样了？

光是我来教的话，对根本君没有什么好处，

而且……

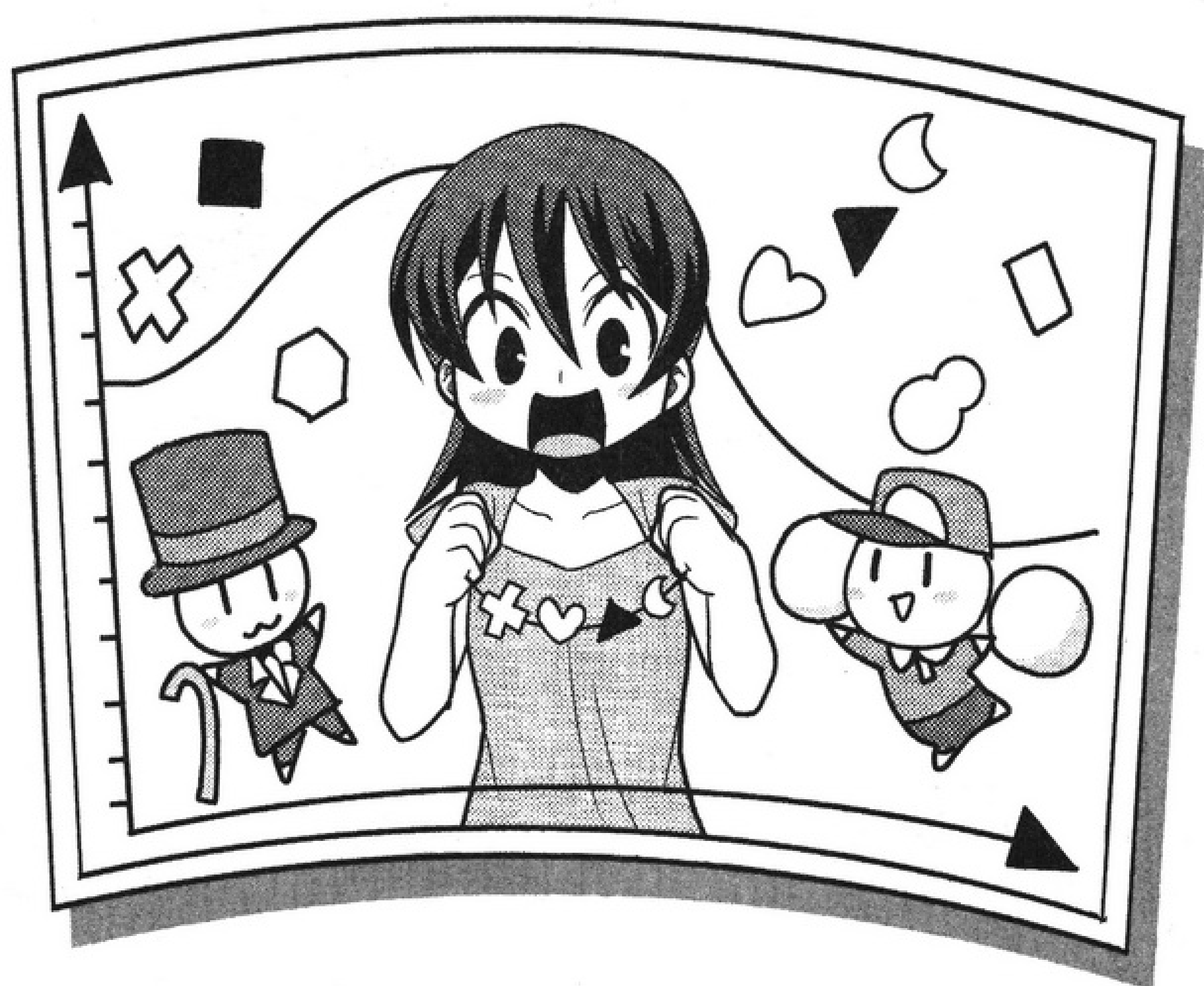
这样了？



哈

第4章

酶是化学反应中的关键物质



1. 酶和蛋白质


嗯，太棒了！
连报告都做好了，久美，你太厉害了！


呵呵，这是我努力的结果！
太好了！久美！

这还多亏了根本君的帮助……
不，我……
呵呵
我觉得你们两个人都成长了不少啊。
呵
呵





蛋白质的功能

之前，我们曾学过三大营养素中的

蛋白质

糖类和脂类。

糖类 脂类

今天我们要讲剩下的一种物质“蛋白质”。如果不了解蛋白质就不能够谈生物化学……其实蛋白质是一种非常重要的物质!

你们还记得在第一节课上曾经讲过在细胞中所发生的“蛋白质的合成”吗？

① 合成蛋白质
② 物质代谢
③ 生产能量
④ 光合作用

记得！

蛋白质对于细胞生存来说具有非常重要的作用！

在我们身体中，蛋白质发挥着什么作用呢？



让我们来总结一下其主要功能。

蛋白质的功能

①构成肌肉组织，是肌肉组织更新和修补的主要原料。
②调整细胞的形状，调节细胞运动。
③生产骨胶原等细胞之间的结缔组织，构成身体骨架。
④在细胞内外进行信息交换等。
⑤促进各种化学反应。
⑥抗击外敌，保护身体。
⑦输送其他的物质。
⑧贮存氨基酸（构成蛋白质的材料）。

我们的身体（细胞）是许多化学反应进行的场所！

这些只是蛋白质的“主要功能”，除此之外，它还具有很多其他功能。

啊！

一般认为：在我们人体内，少则存在着几万种蛋白质，多则存在着10万种甚至20万种蛋白质。

哇！那么多啊？



酶是什么物质?

请注意第5条！实际上在那么多的蛋白质中,具有“⑤促进化学反应”作用的蛋白质种类也极其多。
⑤促进各种化学反应。
也就是说，蛋白质最重要的功能就是促进化学反应。
比如，我们来看看喝酒后的化学反应吧！
酒精（乙醇）
代谢
代谢
肝脏
某种蛋白质
其他蛋白质





嗨哟
嗨哟
推进
推进
乙醇
化学反应
乙醛
化学反应
乙酸
酶促进化学反应！
我们将促进化学反应的蛋白质叫做“酶”或“酶蛋白”。
酶……如果我没有记错的话，听说它运用到洗剂中可以去除污渍。
你看，在储存脂肪的那部分内容中也出现过。（请参考P112）
对了！
酶的功能可不是只有这些……


生物化学
一定要学习酶的相关功能！
“生物化学”是一门探索多种化学反应中所形成的生物体组织结构的学问，
而掌握酶的功在生物化学中非常重要。
酶
酶
酶
酶
酶


一提到酶，我就觉得肚子好撑哦……
喔
在学习酶的相关知识之前，让我们先来学习一下“蛋白质”的结构。
好的
好的

蛋白质由氨基酸组成

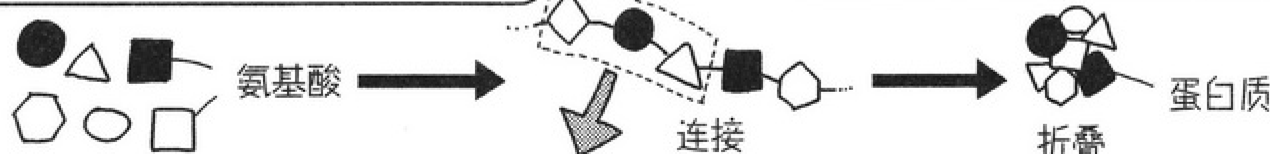

有一个问题，根本君，你肯定知道。
蛋白质用英语怎么说？
protein。

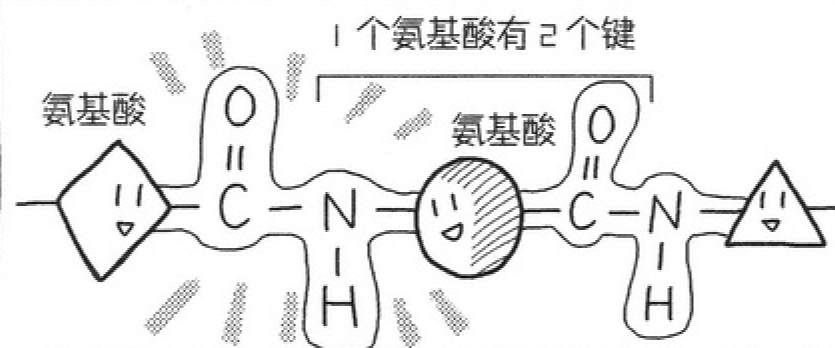

Protein
这个词来源于希腊语中的“proteios”，包含“第一位”、“第一人”的意思。
也就是说，从这个名字中我们可以得知：蛋白质是相当重要的。


对！回答得很好！
不愧是根本君啊……
哇……

蛋白质是由许多比较小的"氨基酸"分子连接而成的。

啊！我记起来了！好像串珠一样连接着。





同时，氨基酸是这样连接的。我们将之称为"肽链"。

(详细内容请参考P158)。

嗯！可以说氨基酸是构成蛋白质的材料。

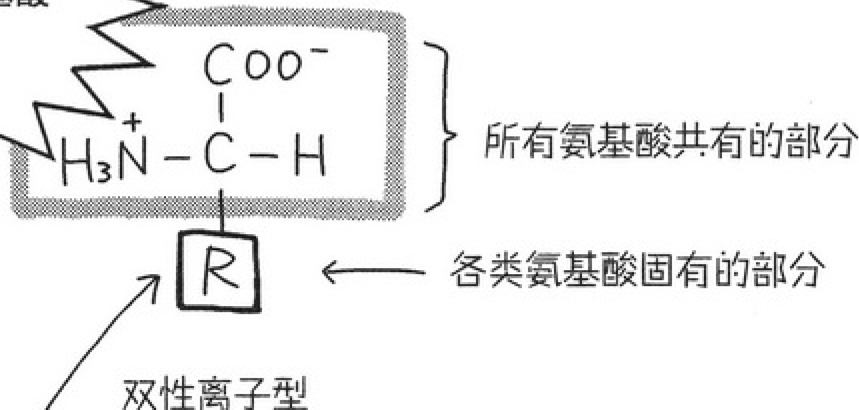
在自然界中存在着许多种氨基酸。

甘氨酸	丙氨酸	缬氨酸	亮氨酸
异亮氨酸	蛋氨酸	脯氨酸	苯基丙氨酸
色氨酸	丝氨酸	苏氨酸	天冬酰胺
谷酰胺	酪氨酸	半胱氨酸	赖氨酸
精氨酸	组氨酸	天冬胺酸	谷氨酸

构成蛋白质的氨基酸主要有20种。

之前一直比喻成串珠！

并且，这就是氨基酸的基本结构！



嗯嗯

这个 R

据说这个R有20种。这里才是关键！

R 因为有20种R，所以有20种氨基酸。

并且……

氨基酸

[ ] 是所有氨基酸共有的部分。

名称	三字母缩写	单字母缩写
甘氨酸	Gly	G
丙氨酸	Ala	A
缬氨酸	Val	V
亮氨酸	Leu	L
异亮氨酸	Ile	I
蛋氨酸	Met	M
脯氨酸	Pro	P
苯基丙氨酸	Phe	F
色氨酸	Trp	W
丝氨酸	Ser	S
苏氨酸	Thr	T
天冬酰胺	Asn	N
谷酰胺	Gln	Q
酪氨酸	Tyr	Y
半胱氨酸	Cys	C
赖氨酸	Lys	K
精氨酸	Arg	R
组氨酸	His	H
天冬胺酸	Asp	D
谷氨酸	Glu	E

那 20 种氨基酸的分子结构式就是这样！

啊

久美，加油哦！刚开始只是粗略地看一下也没关系！

这 20 种氨基酸的连接顺序以及连接数量，

决定了其所构成的蛋白质的种类。

哈哈哈

不过，有的地方与串珠不同。

氨基酸如果只是连接得很长，并不会形成具有良好功能的蛋白质。

咦？

嗯，确实如此，即使是 20 种串珠，因为其组合方式不同，也能做成各种不同的项链。

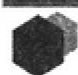
ふら

ふら

蛋白质要想发挥其应有的功能，就必须被折叠成适当的形状。

而且，折叠也是有一定的顺序的。

关于这点，我要详细解说一下。



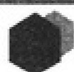
蛋白质的一级结构

首先，各个氨基酸分子由“肽键”连接起来，形成一条长长的氨基酸链。你们还记得吗？我在第 1 章中曾经提起过：各个氨基酸分子因化学反应而连接起来生成蛋白质。这个化学反应就是产生肽键的化学反应，即“肽基转移反应”。

在第 5 章我们将会介绍这个反应。该反应是在位于细胞质中的无数个蛋白质合成装置“核糖体”中发生的。结果，会产生如下图中的键。

这样，好多个氨基酸通过肽键连接起来，形成了一条很长的氨基酸链。我们将这条氨基酸链叫做多肽链，将这种状态叫做蛋白质的一级结构。

一级结构

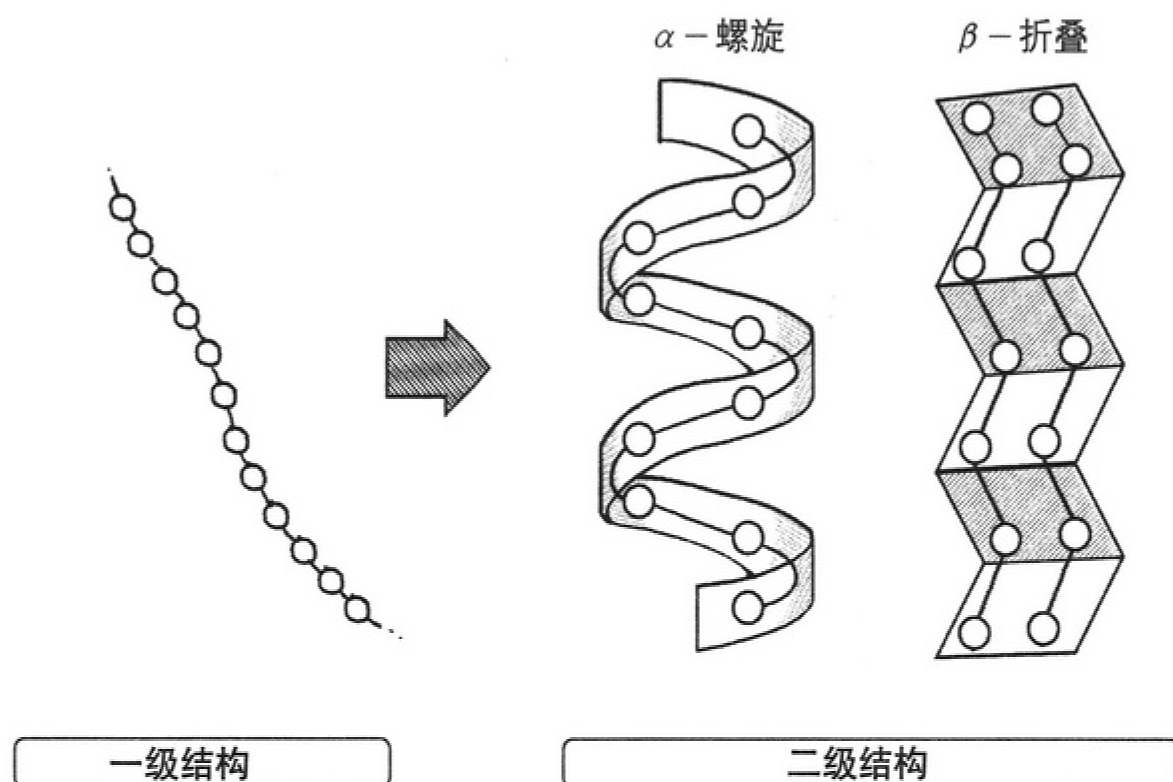


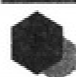
蛋白质的二级结构

在 20 种氨基酸中，各个氨基酸都有被叫做侧链的独特部分（P155 的 R 部分）。在侧链与侧链之间，受氢键、疏水键、静电相互作用等各种作用力的影响，氨基酸连接成长长的一条线，形成了一级结构。接着，其一级结构也就是多肽链的一部分因为侧链之间的相互作用形成了具有某些固定特征的立体结构。

我们将这种结构叫做蛋白质的二级结构。

比如，一般较常见的二级结构有以下两种。多肽链的一部分因为氨基酸侧链之间的相互作用而形成的螺旋状的“α－螺旋”结构，多肽链折叠成好几层而形成的平面状的“β－折叠”结构。



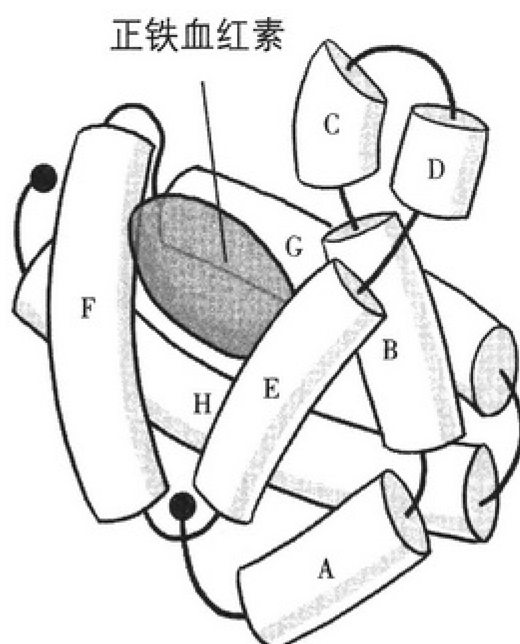


蛋白质的三级结构

但是，在二级结构中，多肽链还不能发挥出“蛋白质”所应有的功能。

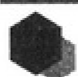
要使其发挥出蛋白质所应有的功能，在各处呈二次结构状的所有多肽链必须在氨基酸侧链之间的相互作用下形成固定的形状。我们将所有多肽链最终所构成的形状(立体结构）叫做蛋白质的三次结构。

比如，如图所示的肌红蛋白（myoglobin）是存在于动物肌肉中的一种蛋白质，它由 8 段 α－螺旋区构成。



肌红蛋白由 8 段（A ～ H 肽段）α－螺旋区构成。（●— 为末端）

三级结构



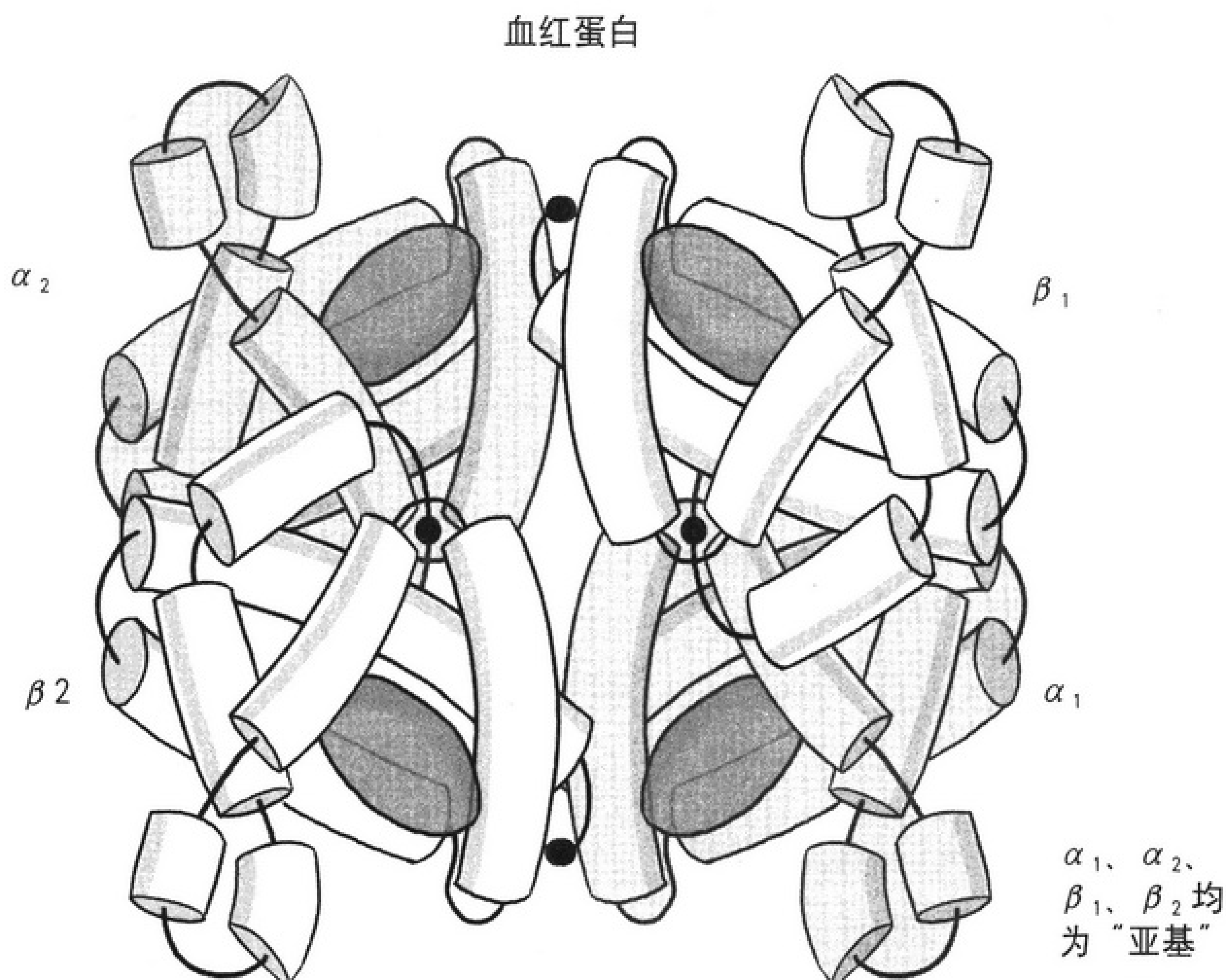
蛋白质的四级结构和亚基

很多蛋白质在第三级结构阶段，就能够发挥出作为蛋白质或作为酶所应有的功能。

但是，有部分蛋白质，构成其三级结构的多个多肽链会聚合在一起形成复合体，有时会在特定状态下发挥出特定的功能。

比如，在我们血液中的红血球内，含有很多名叫血红蛋白（hemoglobin）的铁结合蛋白，其主要功能是运输氧。如图所示，血红蛋白是由 4 条名叫珠蛋白的多肽链（α 和 β 2 种，每种各两个，即 α_1、α_2、β_1、β_2）聚合在一起形成的复合变构蛋白。在我们细胞中合成 RNA 的“RNA 多聚酶Ⅱ”是由 12 条多肽链聚合在一起形成的。

我们将这种状态叫做蛋白质的四级结构，将在构成四级结构时所利用的各条多肽链特称为“亚基（subunit）”。



因为血红蛋白的亚基结构与肌红蛋白的亚基结构相似，所以图中所描绘的血红蛋白与 P160 的肌红蛋白的结构相同。但是，实际上它们的结构略有不同。

四级结构

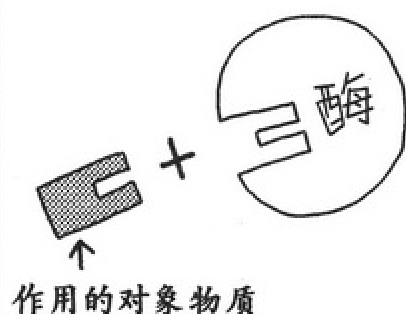
2. 酶的功能

底物和酶

接着，我们将讲解一下酶的有关知识。
酶是化学反应中的关键物质！
我们要一起加油哦！

好

实际上酶所作用的对象物质是固定的。



比如，在胃中分解蛋白质的消化酶“胃蛋白酶（pepsin）”，

蛋白质

只会分解蛋白质，决不会分解 DNA。

唾液中所含有的消化酶“α－淀粉酶”

淀粉

脂肪

会分解淀粉，但不会分解脂肪。





这样，我们将酶所作用的“对象物质”叫做底物，

把底物由酶来决定的性质叫做底物特异性。

我们唾液中所含的α－淀粉酶……
其底物是“淀粉”，其催化所生成的反应生成物，即由α－淀粉酶分解所产生的物质……
为“麦芽糖（maltose）”、“麦芽三糖（maltotriose）”、“界限糊精”等，
由2个到8个左右葡萄糖分子所组成小分子糖类。
总结一下，就是这样的！
α－淀粉酶把淀粉分解得很零碎。
我是剪刀
酶
α－淀粉酶
喀嚓喀嚓
α－淀粉酶
淀粉
酶底物复合体
完成了！
反应生成物
麦芽糖（maltose）
麦芽三糖（maltotriose）等。
因为分解得很零碎，所以感觉就像是裁剪一样。
同时，在酶中既有严格固定了底物的酶，
也有底物特异性范围比较广泛的酶，也就是并没有严格指定底物的酶。
专一性酶
除此以外的物质绝对不行
非专一性酶
什么都可以
下面，我详细解说一下。



专一性酶？非专一性酶？



在酶中既有严格固定了底物的"专一性酶"，又有底物特异性范围比较广泛的酶，也就是并没有严格指定底物的"非专一性酶"。



专一性酶和非专一性酶？它们到底是什么？



对于有些酶而言，只要是具有相似性的同种物质，都可以成为其底物。尤其是在作为消化酶被利用的蛋白质分解酶中，就有很多这样的例子。



为什么呢？因为蛋白质是由 20 种氨基酸按照各种各样的顺序连接而成的，所以如果光是一些这样的酶，如"只分解甘氨酸"、"只分解丙氨酸和组氨酸之间的部分，其他的不能分解"，那么分解蛋白质就需要很多酶，这样一来就会非常麻烦。

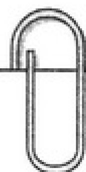




正因为蛋白质的结构非常复杂，所以与此对应的酶就比较灵活。



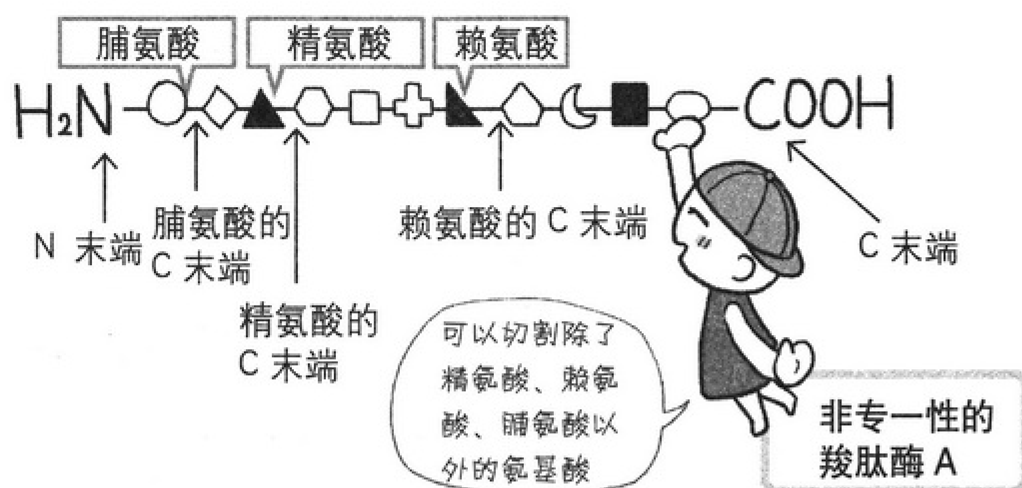
没错！在蛋白质分解酶中，大多数酶的底物范围都比较广泛。





例如，在我们肝脏所分泌出的蛋白质分解酶中，有一种名叫“羧肽酶”的酶，它是一类可以从蛋白质肽链的末端开始依次降解、释放出氨基酸的肽链外切酶。

在羧肽酶中包含 A、B、C 等种类。比如羧肽酶 A 可以切割蛋白质的 C 末端除了精氨酸、赖氨酸、脯氨酸以外的其他所有氨基酸（不过，如果在其中一个氨基酸前面有脯氨酸就不能切割）。

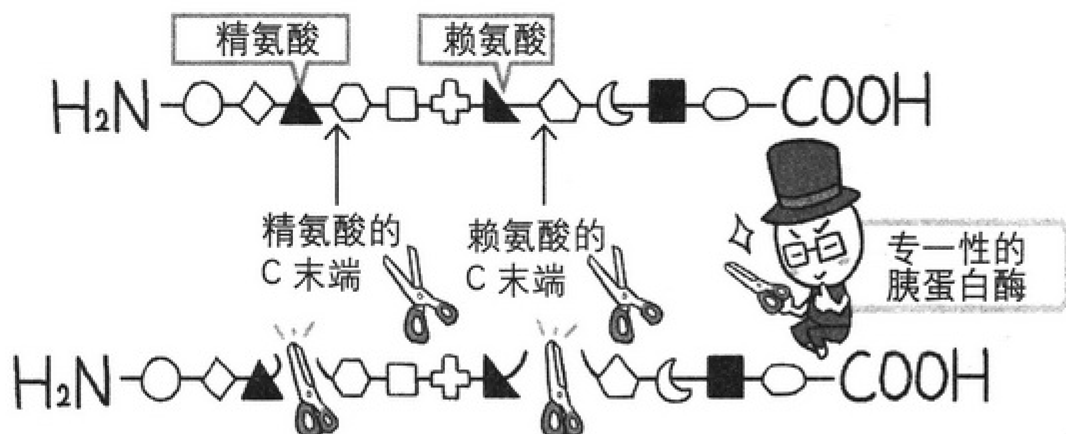




构成蛋白质的氨基酸有 20 种。即使不能将精氨酸、赖氨酸、脯氨酸切割掉，剩下的 17 种氨基酸都能够被羧肽酶 A 切割掉吧？



没错哦！这样就扩大了它的底物范围。
不过，在蛋白质分解酶中，也有“专一性酶”，比如“胰蛋白酶”只切割精氨酸和赖氨酸 C 末端的一部分。



酶的分类

那么，在我们身体中实际上存在着各种各样的酶。

根据这些酶大致的特征，可以将其分为几类。

酶
酶
酶
酶

料理根据其特征也可以分为各种不同的种类。

日餐？
西餐？
肉？
鱼？

按照酶的催化反应类型，

6

可以将酶分为六大类。

各类酶都会被附上“EC 编号(Enzyme Commission Number)”，一般表示为“EC a.b.c.d。”（a、b、c、d 为编号）。

a 表示六大类，为 1 ～ 6 这几个数字。b 和 c 更详细地表明了酶在各自所属类别中的反应形式。d 为各种酶固有的编号※。

加入编号

EC a.b.c.d

1 ～ 6 大类

详细表明反应形式

固有编号

并且 EC 编号是世界通用的。

哦，原来是这样啊！

※ 根据国际生化学分子生物学联合（IUBMB）酶委员会制定的规则，新发现的酶将以 EC 编号、系统名以及推荐名来命名。

6 大类酶就是这些。

酶的催化反应类型

EC 1. 氧化还原酶
EC 2. 转移酶
EC 3. 水解酶
EC 4. 裂解酶
EC 5. 异构酶
EC 6. 合成酶

今天我将介绍其中的两类代表性酶：EC 2. 转移酶和 EC 3. 水解酶。

那么，我们请它们出场吧！

今天的客人是……

啊？

转移酶和水解酶

じゃ〜〜ん!!





EC 2. 转移酶

EC 3. 水解酶

它们是什么酶？具有什么功能？让我们一起来看看吧！

转移酶

把一种物质的一部分转移到另一种物质上的酶就是“转移酶”。

转移

它是将一种物质的基团（特定的原子块）转移到除水以外的另外一种化合物中的酶的总称。

转移

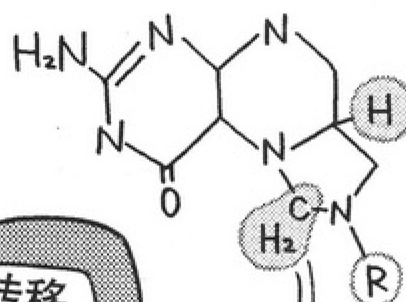
我拿来了！

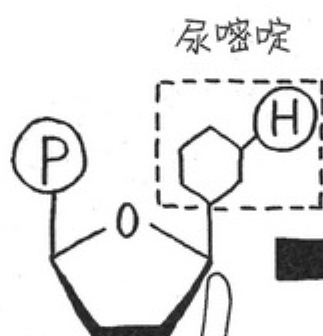
基团

用“EC 2.X.X.X”表示。

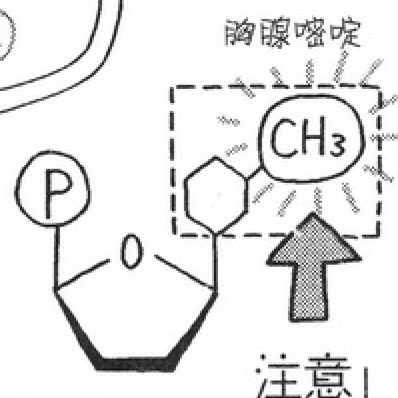
比如胸腺嘧啶核苷酸合成酶（EC 2.1.1.45）

5，10-亚甲基四氢叶酸









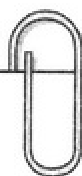
注意！

尿嘧啶与5,10－亚甲基四氢叶酸带来的甲基（$-CH_3$）结合转变为胸腺嘧啶。

尿嘧啶和胸腺嘧啶为合成核酸的材料，接着我将做进一步说明。

（详细内容见第5章）

原来这样啊－！



“血型基因”的真实身份是“糖转移酶”



你还记得我们之前曾经解开过有关血型的谜题吗？
那时，我们曾经讲过：决定血型的是“谁”？其实就是“酶”。



我记得！
ABO 式血型根据红细胞表面的“糖链”的不同可以分为几种血型。
糖链是由单糖分子连接而成的！



并且，糖链的不同之处就在于其头部的单糖是什么。



确实如此！ A 型血为 N-乙酰半乳糖胺(GalNAc),B 型血为半乳糖(Gal),O 型血什么也没有。
因为我都认真地写在了报告中，所以我记得。呵呵！



嗯。在糖链的头部连接什么样的单糖或不连接单糖是由某种“基因”决定的。

可以说基因就是“蛋白质的设计图”。
并且,提起蛋白质就会想到酶。也就是说,决定血型的是合成“糖转移酶”的基因，而糖转移酶负责将糖分子连接到红细胞表面。

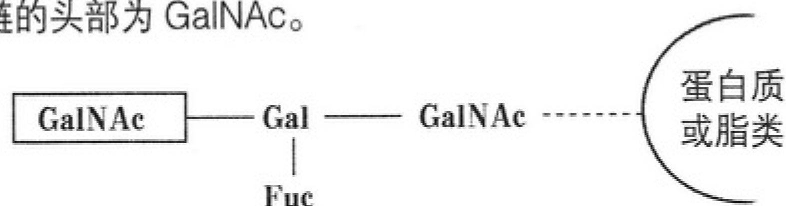


糖转移酶？
就是载运糖并将糖连接到红细胞表面的酶？



对！请再看一遍各种血型的糖链结构。

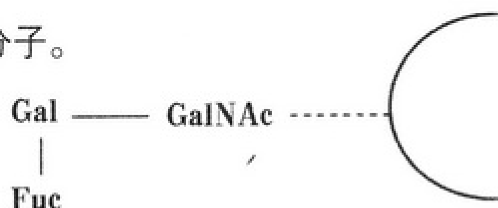
A 型血的人的糖链的头部为 GalNAc。



B 型血的人的糖链的头部为 Gal。



O 型血的人的糖链的头部没有糖分子。



糖的名称

GalNAc：N–乙酰半乳糖胺（N-acetylgalactosamine）
Gal：半乳糖（galactose）
Fuc：岩藻糖 (fucose)
GlcNAc：N–乙酰葡萄糖胺（N-acetylglucosamine）



我们又复习了一遍。这三种类型的不同之处就在于糖链头部的单糖。

A 型血的人是“N–乙酰半乳糖胺”

（虽然其名称中没有“ose”，但是它也属于单糖一族。）

B 型血的人是“半乳糖”

O 型血的人这部分没有糖分子。



嗯！

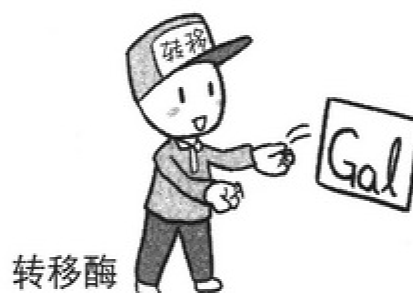


实际上，O 型血的人所带有的糖链是“原型”。

如果带有将 N–乙酰半乳糖胺连接到 O 型糖链的转移酶基因，O 型血就变为了 A 型血！

如果带有将半乳糖连接到 O 型糖链的转移酶基因，O 型血就变为了 B 型血！









欸！原来如此！所连接的糖分子不同，糖链就发生了变化……
转移酶也与血型有关啊！



在 O 型血的人中，也有与这些糖转移酶相对应的基因。但是，因为此基因合成的蛋白质不具有酶活性，所以不能将糖分子连接到末端。可能是基因在进化过程中发生变异而失去了活性。



咦？我觉得好奇妙哦！



也就是说，ABO 血型只不过是因为糖转移酶基因的不同而产生的。



血型占卜和性格诊断都没有科学根据。
但是，根本君好像不自觉地就相信了哦……



糟糕！

水解酶

加水

“水解酶”就如其名，是利用“水”分解底物的酶。

它用“EC 3.X.X.X”来表示。

如何利用水呢？水分子为“H_2O”，

H OH

水解酶会将水分子分解成“H”和“OH”。

接着将“H”和“OH”插入到其所作用的对象物质即底物中，由此将底物分解成了两个部分。

加水 请分离

H OH

就是帮助不能分开的两个人

分开啊……

就是这样一种感觉：水解酶的两只手中分别拿着“H”和“OH”，然后用“H”和“OH”分别去握住两个人的手使他们分开※。

共同的能量货币 ATP 被分解的方式也是水解哟。

分解淀粉的 α-淀粉酶、分解蛋白质的胃蛋白酶等

蛋白质 淀粉酶

就是水解酶的同类。

那么，在此让我们来看一看 α-淀粉酶（EC 3.2.1.1）的功能。

这就是唾液中的淀粉酶分解大米等物质中的淀粉的过程。

※ 当然，水解酶没有“手”。这只是一种想象。

首先，淀粉中的葡萄糖分子主要是以 α(1 → 4) 糖苷键连接在一起。

糖苷键在有关年糕的话题中曾出现过吧……

(请参考 P140)

葡萄糖

α(1 → 4) 糖苷键

葡萄糖

ZOOM!

CH_2OH H O H H H OH H HO H OH O CH_2OH H O H H H OH H H OH O CH_2OH H O H H H OH H H OH

葡萄糖　葡萄糖　葡萄糖

α－淀粉酶在分解淀粉的过程中，会自然地将 α(1 → 4) 糖苷键切断。
这种切断的方法就是水解！

α(1 → 4) 糖苷键

淀粉

α－淀粉酶

自然地将 α(1 → 4) 糖苷键切断

这就是水解

被分解后，就生成了各种不同长度的糖分子啊！

那么，我们来看一下水解的原理。

H　OH

—O H H O

α(1 → 4) 糖苷键

\+ H_2O

α－淀粉酶

—O H OH H HO O

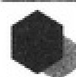
利用 "H" 和 "OH" 分解。

我们可以得知：水解酶 α－淀粉酶利用一个水分子来分解淀粉。

利用我们的唾液竟然会发生这样的反应，真是很奇妙啊……

3. 利用图表来理解酶的功能





为什么酶对于化学反应来说很重要?

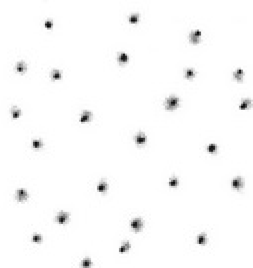
我们将促进化学反应的物质叫做“催化剂”。酶就是催化剂中的代表性物质，有时也被叫做“生物催化剂”。

酶是提高化学反应效率、加快化学反应速度所必需的。但是，它对于化学反应本身来说却未必是必需的。

之所以这么说是因为往往化学反应都会花费很长的时间，会改变环境，按照一定的规律进行（当然，复杂的化学反应不会那样进行）。但是，在生物体内所发生的化学反应并不是这样的。

为什么酶对于化学反应来说很重要呢?这是因为对于寿命比较短的生物来说，在其体内进行的化学反应必须要高效率地进行，并且如果不考虑到生物整体就会很糟糕。

如果没有酶……



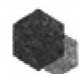
就不会有生物……

因为有了酶,

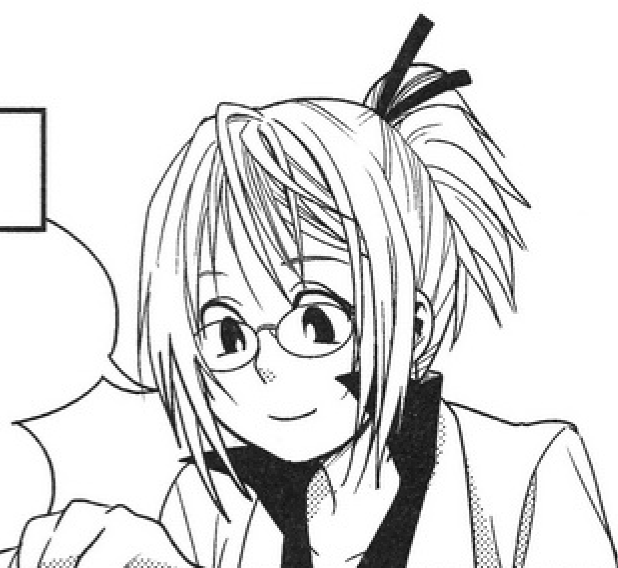


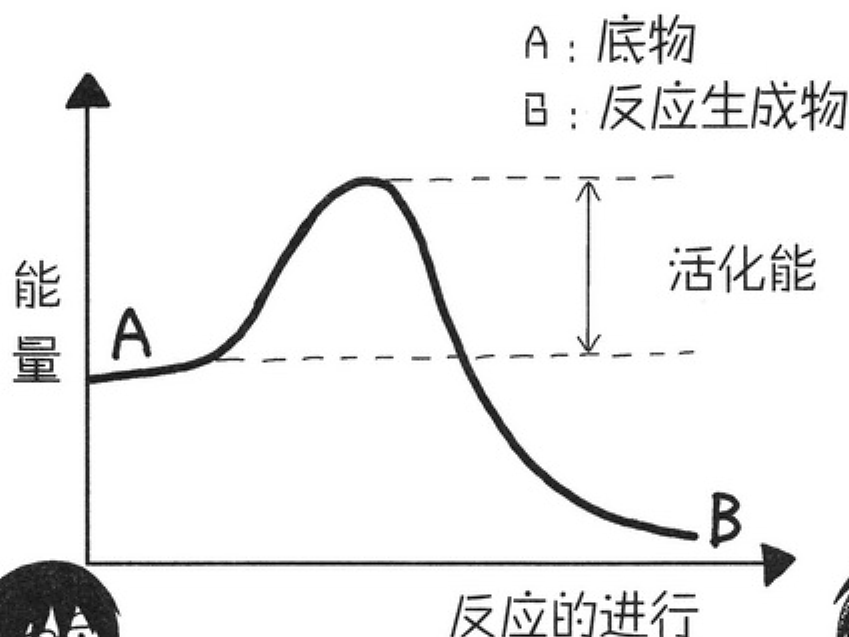
生命才得以维持!

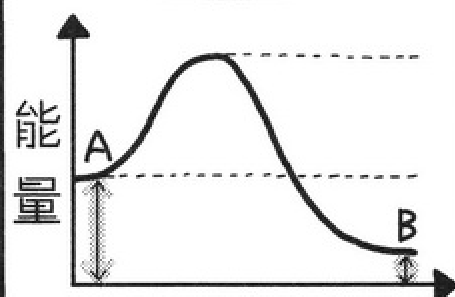
在此，我们将使用图表和数学式子的形式简明地表示酶催化化学反应的本质，从而进一步了解酶对于化学反应来说具有的重要意义。



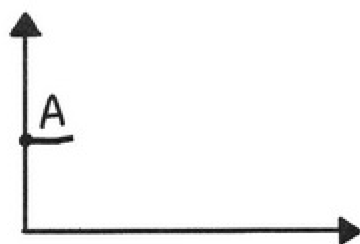
什么是活化能?

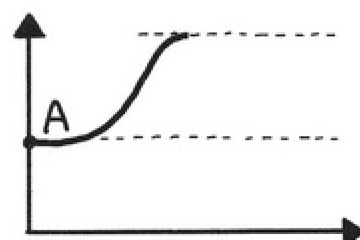






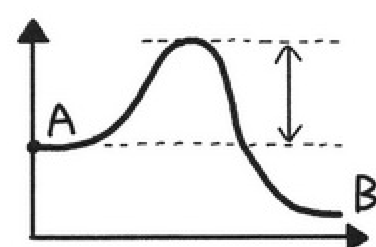
简单地说，就是这样：某种化学物质（底物）要越过很高的围墙到达对面的空地才能生成反应生成物。





欸……

很高的围墙啊……似乎很难哦。



同时，我们将要越过的这堵高墙的最高部分叫做“活化障碍”或“反应障碍”。



酶能够降低“围墙”的高度

在这种高“围墙”的化学反应中，

酶到底会给这个反应带来什么作用呢？

酶

简单地说，如果有酶，那么这堵高墙就不再是高墙了！

变低了！

えいっ！

也可以这样说：酶会将 3 米高的围墙降低到 1 米，

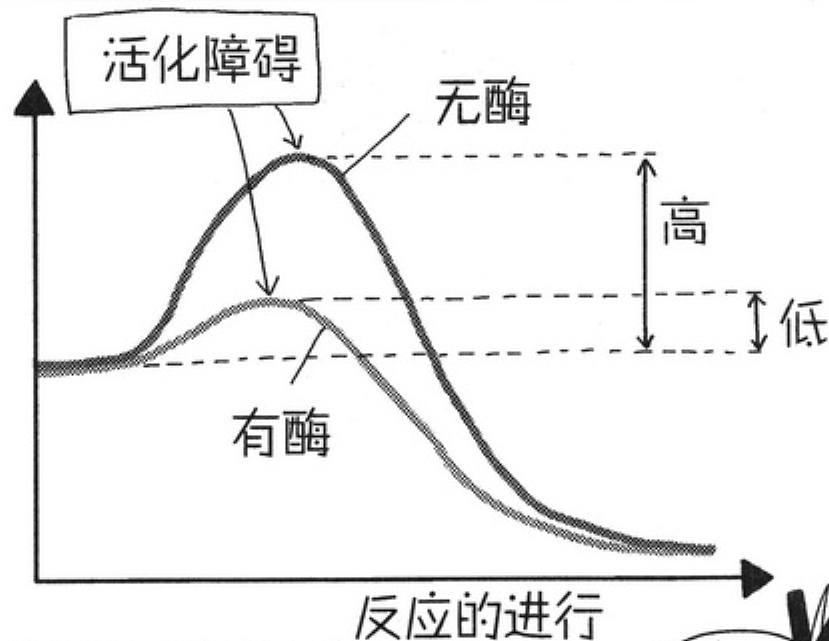
或者酶会轻而易举地将我们投放到围墙的对面，

因此在化学反应中即使遇到很高的围墙，也能轻松地跨越。

变得轻松了！

反应的进行

我觉得酶就像是一个好人！



不过，有的化学反应因为有酶的参与，会与无酶参与的情况大相径庭。

所以并不是说所有的酶都单单只是降低了活化能。

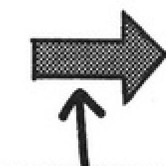


准确地说，如图所示，虽然原本需要很大的活化能，但是因为酶的参与，将所需的活化能变小了，所以化学反应变得更容易发生了。

在此，可以暂且认为：如果有酶的参与，化学反应所需的活化能就会变小。

最大反应速度





酶活性！











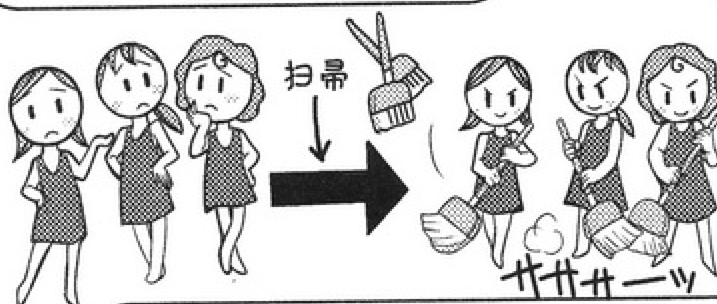
※ 速度为“V”、最大为“max”，所以最大速度就是“V_{max}”。当用拉丁字母表示速度时，就用 Velocity 的第一个字母 V。

酶与所有底物完全结合，也就是所有酶都充分发挥作用的状态是什么意思呢？



你试着想一下大家都在打扫落叶时的情景。

当扫帚不够时，一部分人就会空着手呆在那儿。
如果又拿来一批新的扫帚……



那些人就都能参加到打扫落叶的队伍中，所以打扫的速度就会提高。

但是，如果所有人都拿着扫帚在打扫的话，即使拿来了新的扫帚，打扫的速度也不会再提高。酶与所有底物完全结合的状态就与这种情况相似。

一大堆



原来如此。

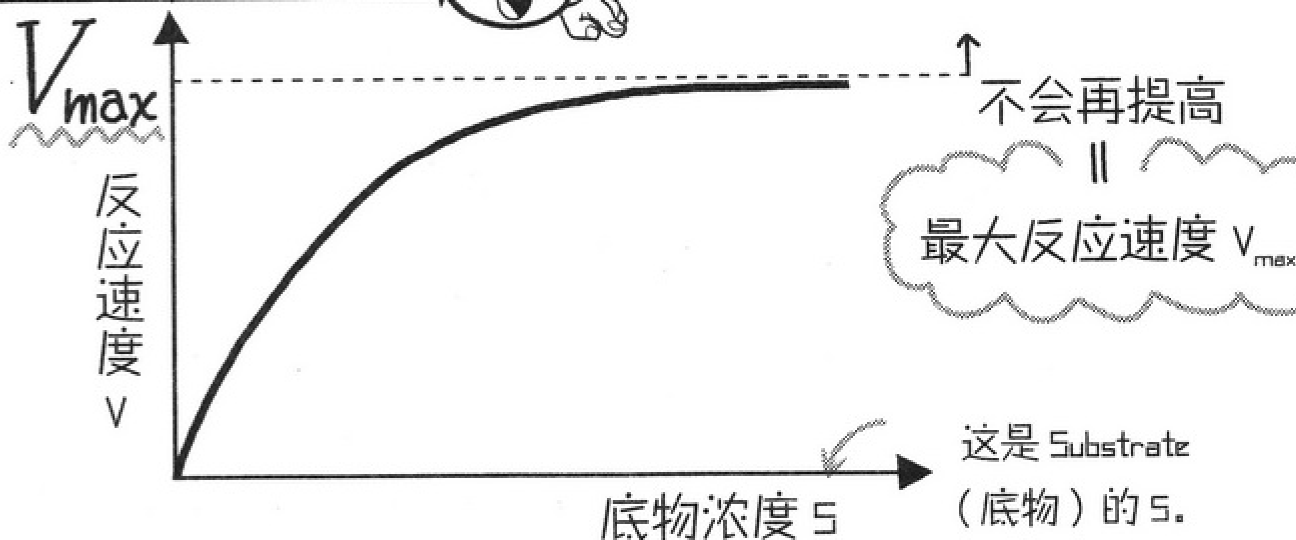
当一部分酶处于闲置的状态时，如果加入新的底物，那些酶就会重新开始工作（发挥作用），反应的整体速度就会提高。



但是，如果所有的酶都在工作（发挥作用），即使加入新的底物，反应速度也不会再提高。

也就是说，如果我们把扫帚比作底物，把人比作酶的话，就能够明白底物浓度的含义了吧。
请看下图，用 x 轴表示底物浓度。

我们将“反应速度不会再提高”这一状态下的速度 V 叫做“最大反应速度（V_{max}）”。



米曼氏方程式和米氏常数

1913 年，美国生物化学家 Leonor Michaelis 和加拿大生物化学家 Maud Menten 提出了表示酶的反应速度和底物浓度之间关系的基本方程式。

我们以这两个人的名字将这个方程式命名为“米曼氏方程式（Michaelis-Menten Equation）”。



$$v = \frac{V_{max}[S]_0}{[S]_0 + K_m}$$

v：反应速度

$[S]_0$：加入酶前的底物浓度

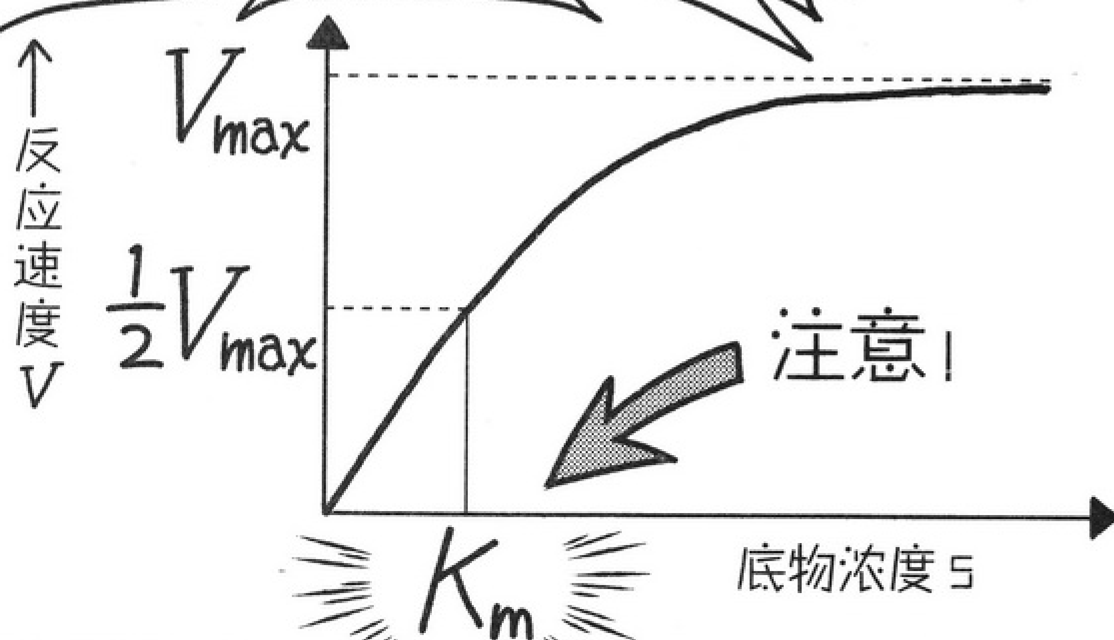
呀……

我又不明白了！

喂，喂，要镇定！

重要的就是这个！

为了导出这个复杂的公式，Michaelis 想出了“米氏常数（K_m）”这个数值，这个数值等于酶促反应的初速度为最大速度 V_{max} 一半时的底物浓度。



现在，这个 K_m 在研究酶的性质方面发挥着非常重要的作用。

之所以这么说，是因为它是各种酶的特征值，通过测定这个数值，

就能得知酶对底物作用的程度，即酶对底物的亲和力的大小。

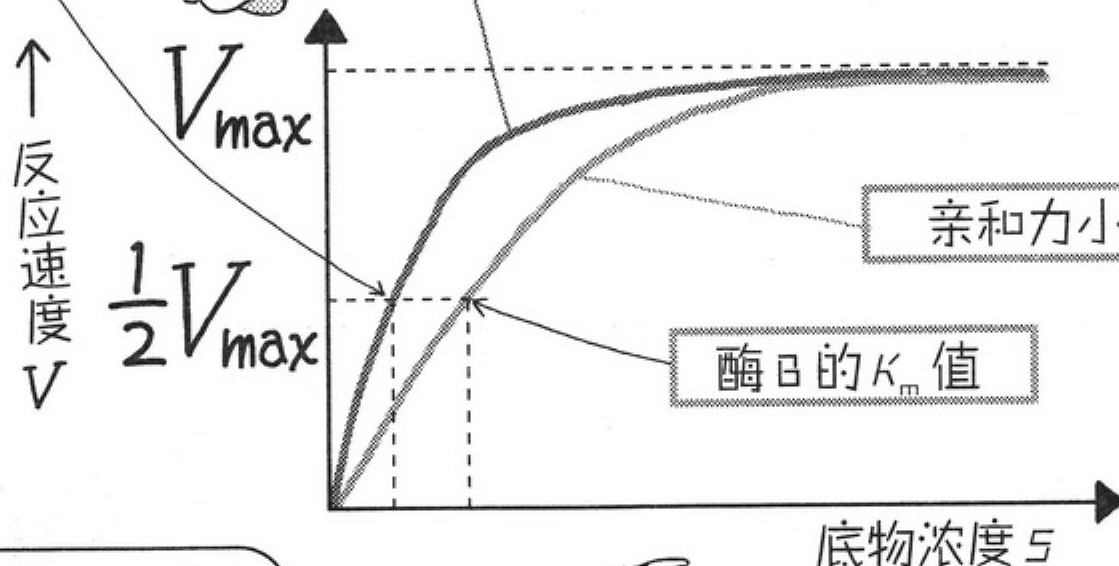
K_m

嗯！

嗯！

K_m 值越小，表示酶与底物的亲和力越大。

也就是说，K_m 值小就意味着在浓度较低的底物中，反应速度会达到最大。所以这也表明了酶的催化作用更有效率。



比较一下这个坐标图里面酶 A 和酶 B 所对应的线，就能够明白了！

在 A 所参与的化学反应中，反应速度从一开始就骤然升高了。

这是因为酶 A 亲和力大，所以才会有那样的结果。

让我们一起来求 V_{max} 和 K_m 的值!

都会了吗?

那么，在此让我们一起来求实际中的酶的 V_{max} 和 K_m 值。

下面，我们以合成 DNA 的酶——DNA 聚合酶为例来看一下。

在这里，合成 DNA 的材料"核苷酸"为"底物"。

因为测定方法很复杂，所以在此就省略不讲了。在底物浓度为……

底物浓度
0 μM
1 μM
2 μM
4 μM
10 μM
20 μM

……的溶液中加入 DNA 聚合酶，在温度 37℃、时间 60 分钟的条件下让其发生反应※1。

并且，测定后，得到了如下的测定结果。

底物浓度		测定结果
0 μM	→	0 pmol
1 μM	→	9 pmol
2 μM	→	15 pmol
4 μM	→	22 pmol
10 μM	→	35 pmol
20 μM	→	43 pmol

这个测定结果（单位 pmol※2）表示有多少底物即核苷酸被用于合成 DNA。

那么，我们试着将这个结果做成坐标图!

测定结果（pmol）

底物浓度（μM）

x 轴（横轴）表示底物浓度（μM），y 轴（纵轴）表示测定结果（pmol）

当底物浓度为 0 μM 时，测定结果为 0 pmol

0

好!

唰唰

※1 实际上也可以加入模板 DNA、镁离子等物质。

※2 读法为"皮摩尔"。按照单位大小顺序排列的话依次为：毫摩尔 (mmol)、微摩尔 (μ mol)、纳摩尔（nmol)、皮摩尔（pmol）。

测定结果（pmol）

45, 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10, 5, 0

0, 5, 10, 15, 20, 25

底物浓度（μM）

就是这样吧？

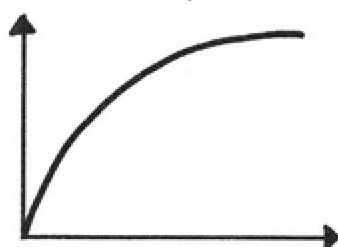
嗯。
可以得到一条漂亮的曲线图※。

※ 通过实际的活性测定得到如此漂亮的曲线图的情况并不多。这是一种非常理想的情况。













a 的倒数为 1/a。

2 的倒数是 1/2=0.5

3 的倒数是 1/3=0.333…

4 的倒数是 1/4=0.25





如果横轴（底物浓度）上的数为 0，1，2，4，10，20，那么分别取一下各数值所对应的倒数，除 0 以外的其他数值的倒数分别如下：

1 的倒数为 1

2 的倒数为 0.5

4 的倒数为 0.25

10 的倒数为 0.1

20 的倒数为 0.05

就是这样！

把纵轴对应的数值同样取倒数，然后找出双倒数在坐标轴上所对应的点并作出图形。

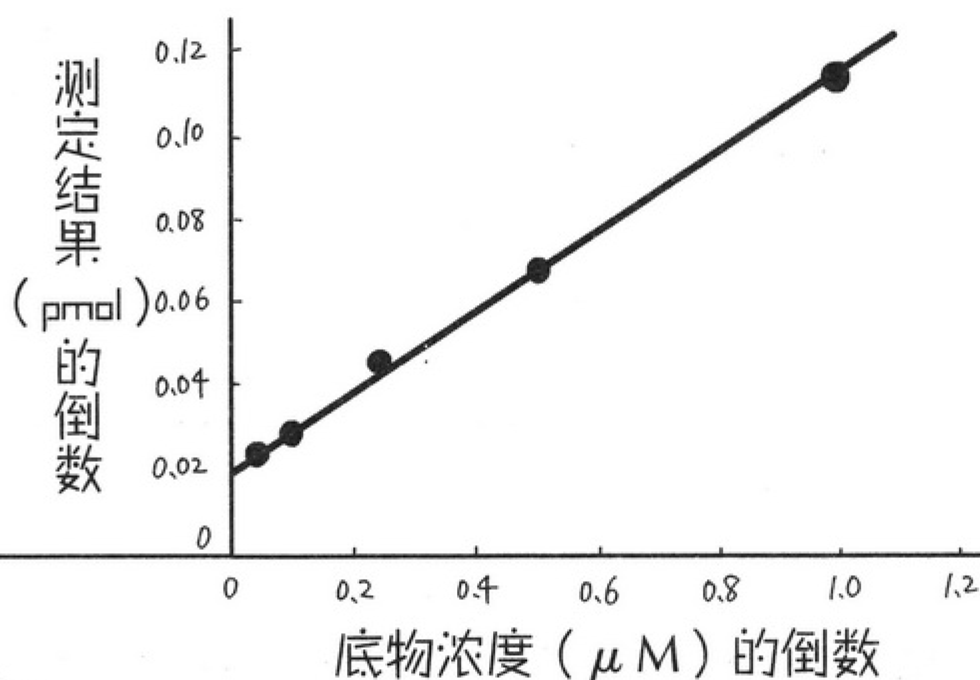
如果使用计算器，就能轻易得出倒数的结果。

Pi

纵轴上的数除 0 外分别为
9、15、22、35、43
9 的倒数为 1/9，所以 1÷9 ≈ 0.111
15 的倒数为 1/15，所以 1÷15 ≈ 0.066

9 的倒数大约为 0.111
15 的倒数大约为 0.066
22 的倒数大约为 0.045
35 的倒数大约为 0.028
43 的倒数大约为 0.023

完成了！
啊？



太不可思议了！
变成了“直线”！

很好！

那么，我来说明一下原因。
为什么取倒数呢？



为什么取倒数呢？



为什么取倒数呢？这个问题……

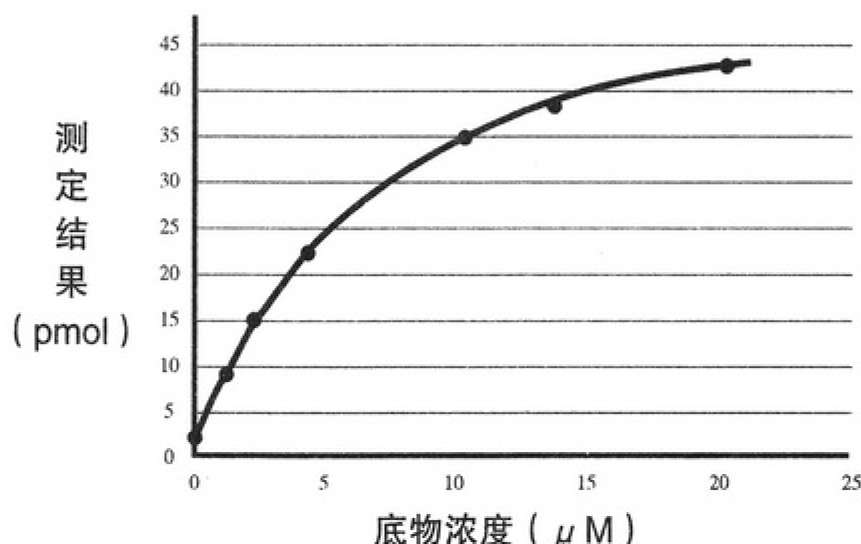


嗯，到底是为什么嘛？我还是糊里糊涂的！



那么，让我们一起来解答这个问题。

首先，请看 V_{max}。在下面的曲线图中，底物浓度越大，就会越接近 V_{max}。这一点你明白吧？





嗯，明白。当底物浓度越来越大时，就会逐渐到达顶点。

也就是，接近其界限最大反应速度 V_{max}。

这样，如果耐心继续测定的话，就能够得知 V_{max}、$1/2V_{max}$、K_m 的值。



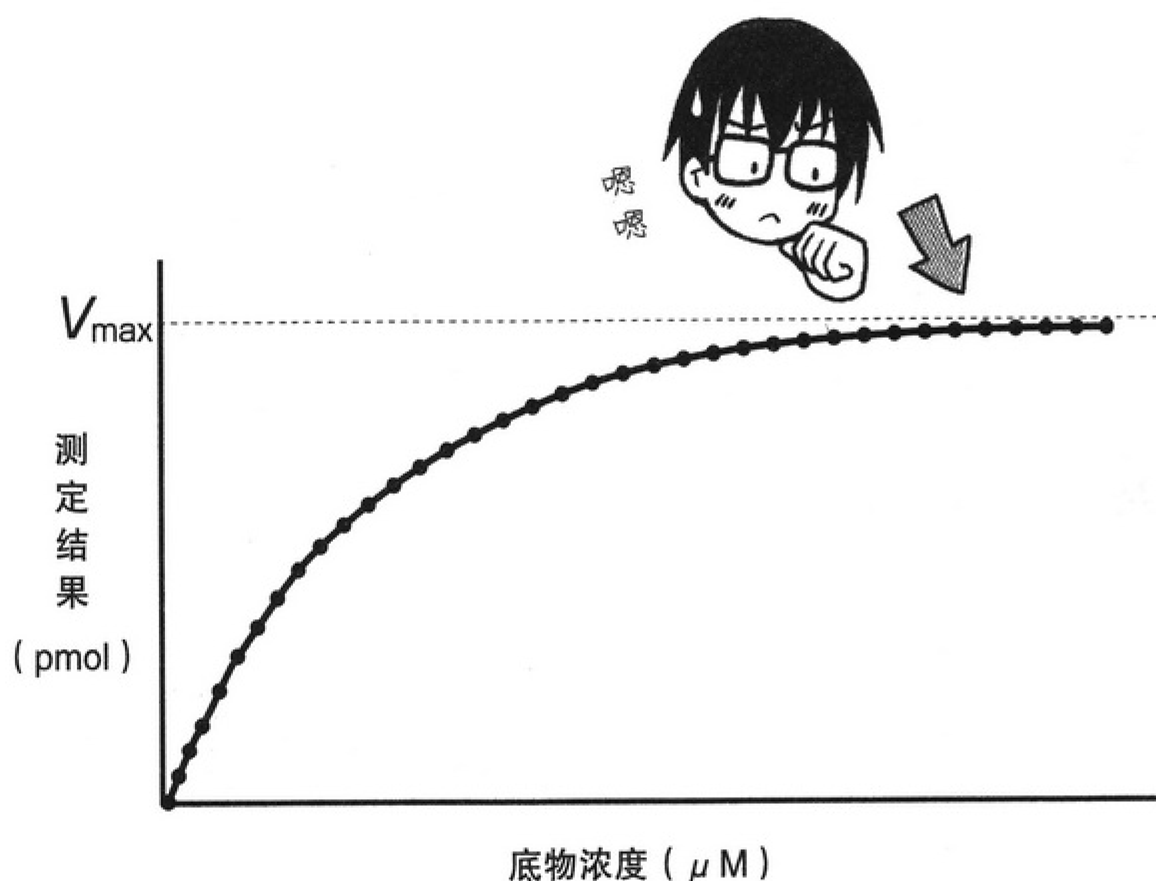
确实按理根据实际酶促反应的测定结果的值可以求得它们的值。但是，在现实中却有点困难。



欸？为什么呢？



越接近 V_{max}，测定结果的值之间的差距就会越小。





把测定结果的值所对应的各个点连接起来作成图，图上的哪点会正好与 V_{max} 吻合？其实这是没有准确定论的。



看起来永远都不可能达到 V_{max}。



原来如此啊！那么，到底怎么办才好呢？



所以，我们转换思维！如果底物浓度一直增大、增大，当它到达无穷大时，会怎么样？



要是无穷大的话，就会达到 V_{max}……



但是，无穷大是没法计算的。
怎样才能求出 V_{max} 的值呢？

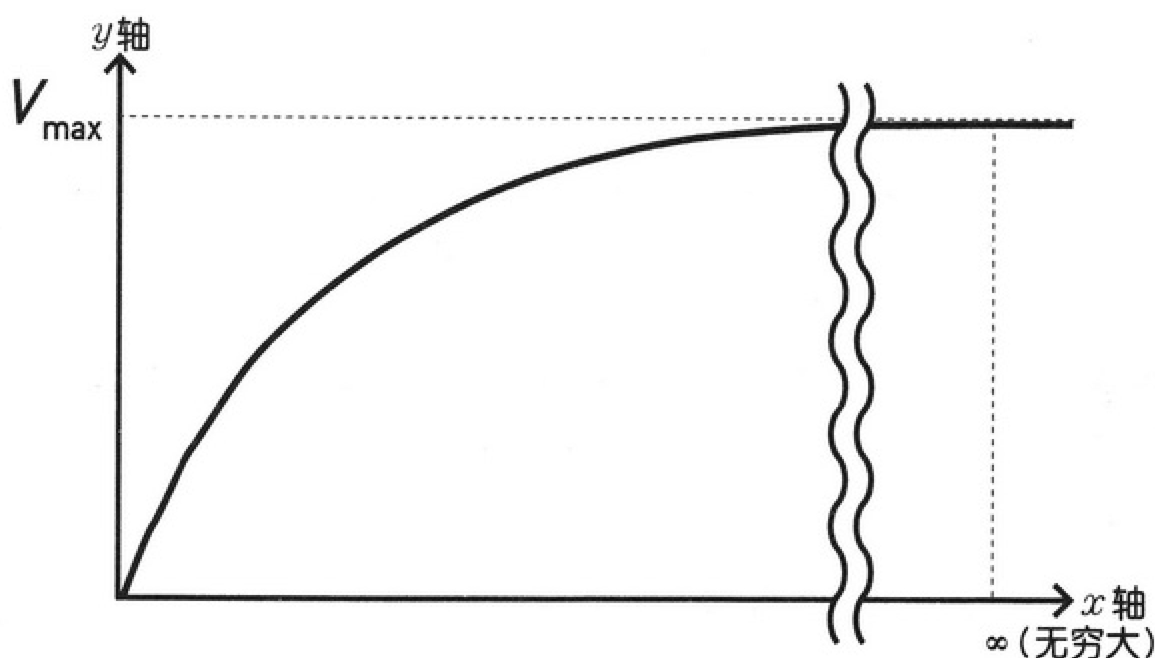


于是，就出现了一个绝妙的办法。
那就是利用无穷大的倒数，也就是 0（zero）。

也就是说，通过取倒数，当 x 轴的值为 0 时可以确定 y 轴的值为“V_{max}”！
准确地说，这时 y 轴对应的值就是（$1/V_{max}$）。



也就是这样。



步骤 1

当 x 轴的值为无穷大时，y 轴的值为 V_{max}。

但是，无穷大是很抽象的概念，没法计算出来！
我想把它转换为某个具体的数字。
对！将 x 轴、y 轴上的值同时取倒数。

步骤 2

当 x 轴的值为 1/ 无穷大时，y 轴的值为 $1/V_{max}$

让我们将“无穷大的倒数 =0”这一规则应用进来。

步骤 3

当 x 轴的值为 0 时，y 轴的值为 $1/V_{max}$。

那样的话，似乎作图就能得出 V_{max} 的具体值。



哦！原来是这样啊！

虽然我认为我不擅长作图，但是如果依次考虑一下为什么要取倒数、如何取倒数，我就觉得不太难了。



明白了取倒数的原因，就感觉轻松多了吧？

那么，回到刚才的直线图上，让我们来求一下 V_{max} 的值。



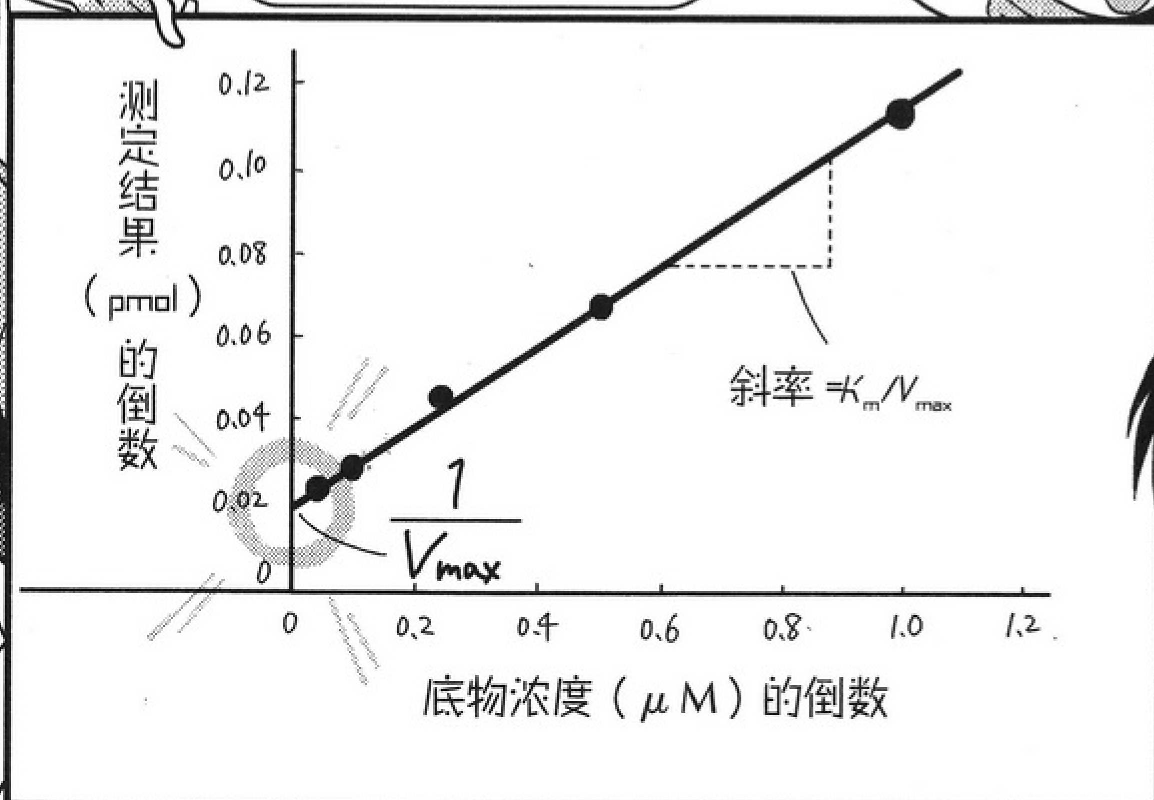
好的！

接着还要围绕着倒数转啊！

当此图的 x 轴的值为 0 时，y 轴的值约为 0.019。在这个反应中的 DNA 多聚酶的 V_{max} 为 1/0.019=52.6。即其最大反应速度约为 52.6 pmol/60min[※1]。

太好了！ V_{max} 的值算出来了！

也就是说，其最大反应速度[※2]表明每小时将使用 52.6 pmol 的核苷酸用于 DNA 的合成。



高兴得太早了！
通过这个图也能求出 K_m 的值。

K_m

好好看一下倒数的推导过程，就明白直线的斜率可以用 K_m/V_{max} 来表示。

请回顾一下中学数学中的一次函数。
下面我将详细解说一下这个推导过程。

※1 因为 DNA 多聚酶的反应时间为 60 分钟。

※2 因为测定条件和 DNA 多聚酶种类的不同，这个值会发生变化。52.6 pmol/60min 只是其中的一个例子。

让我们通过米曼氏方程式来求 K_m 与 V_{max} 的值！

$$v = \frac{V_{max}[S]_0}{[S]_0 + K_m}$$

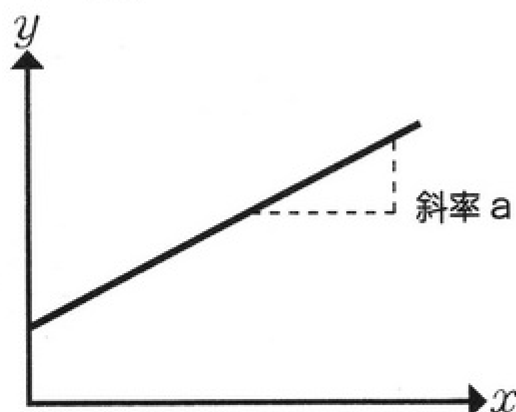
如果取倒数 $1/V$



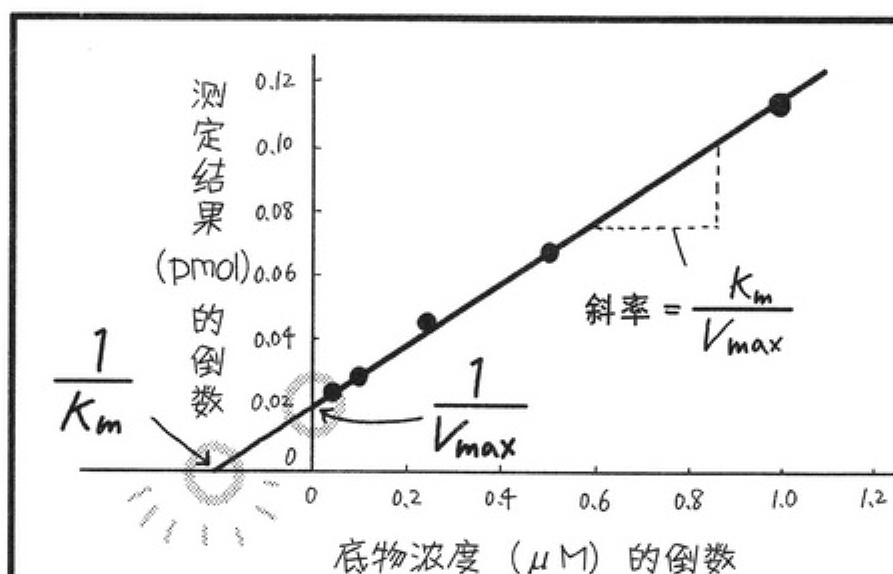
$$\frac{1}{v} = \frac{[S]_0 + K_m}{V_{max}[S]_0} = \frac{[S]_0}{V_{max}[S]_0} + \frac{K_m}{V_{max}[S]_0}$$

$$= \frac{1}{V_{max}} + \frac{K_m}{V_{max}} \cdot \frac{1}{[S]_0}$$

也就是说，可以画出 $y=ax+b$ 的直线图。这时 y 相当于 $1/V$，x 相当于 $1/[S]_0$，a 相当于 K_m/V_{max}，b 相当于 $1/V_{max}$。







测定结果(pmol)的倒数
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0
$\frac{1}{K_m}$
$\frac{1}{V_{max}}$
斜率 = $\frac{K_m}{V_{max}}$
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
底物浓度（μM）的倒数



当 x 轴的值为 0 时，它在 y 轴上的截距就是 $1/V_{max}$。
因为斜率为 K_m/V_{max}，所以当 y 轴的值正好为 0 时，它在 x 轴上的截距就为 $-1/K_m$。
接着通过计算就能求出 K_m 的值。



这是一次函数的直线图。将数值代入计算就可以了。



因此当 y 轴的值为 0 时，x 轴的值大约为 −0.15。
在这个反应中 DNA 多聚酶的 K_m 值就为 1/0.15，大约等于 6.67μM。



太好了！K_m 的值也算出来了！



这个直线图——米曼氏方程的双倒数图（莱思威佛－伯克作图法）对于各种研究来说都很方便。
在有关酶的研究中，这个图经常被使用。



只要记住这种方法，自己就能够以测定结果的曲线图为基础画出双倒数图。
得到倒数作出直线图后，就能够计算出 V_{max} 和 K_m 的值。
嗯！我也会了！
生物化学
秘

4. 酶和抑制剂

到底为什么必须利用令人头疼的方程式和图表来求 V_{max} 和 K_m 的值呢?

或许是为了理解酶促反应是按照严密的化学或数学法则进行的一种反应吧。

但对于研究酶或酶相关领域的学者来说，V_{max} 和 K_m 是非常有用的。

其中有个研究是为了探索酶和“抑制剂”之间的关系。抑制剂有时能够影响到酶与底物的结合，有时能够影响到酶本身，结果我们将之称为能够抑制酶活性的物质。

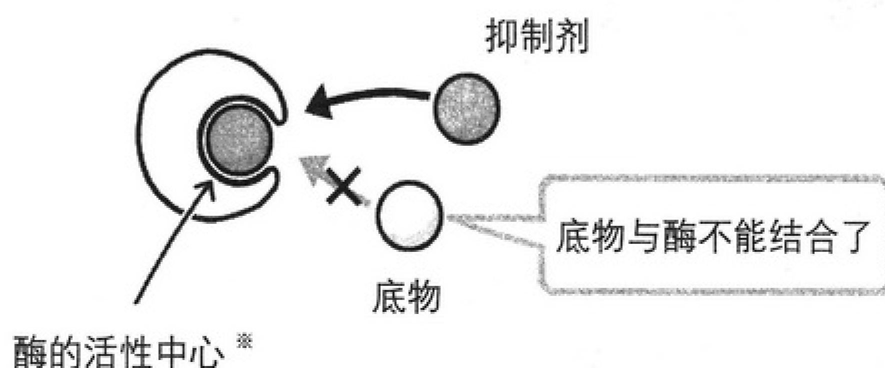
很多抑制剂都是人工合成的，主要被用于酶的研究。因为抑制剂会妨碍酶的功能，所以很多抑制剂对于生物体来说是有害物质。但是也有很多抑制剂如果善加利用，就可以作为抑制癌细胞的药剂来使用。

并且，这种抑制酶活性的物质在自然界中也存在。在其对酶产生抑制作用时，与其称它为抑制“剂”，倒不如称它为“酶抑制物”。例如有些在细胞中生成的酶抑制物，具有非常重要的功能，它能够调节在细胞代谢活动中所发生的酶促反应。并且，我们知道在豆科植物的种子中，大都含有一种被叫做“抗营养因子”的酶抑制物，如 α - 淀粉酶抑制剂、胰蛋白酶抑制剂等，很多人认为它是植物对被动物吞食所产生的一种防御反应。

另外，如果抑制剂的结构与酶的底物非常相似的话，酶就会很好地发挥其“底物特异性”。这样一来，酶就会与抑制剂结合，但是因为抑制剂与底物的形状还是有微妙的不同之处，所以它们不能进行反应。结果，酶的催化作用就会受到抑制。像这样的抑制剂我们之前就知道很多。实际上，如果应用米曼氏方程式，我们就能够得知抑制剂是通过什么原理来抑制酶促反应的。

在抑制机制中，存在着好几种机制，如“竞争性抑制”和“非竞争性抑制”等。

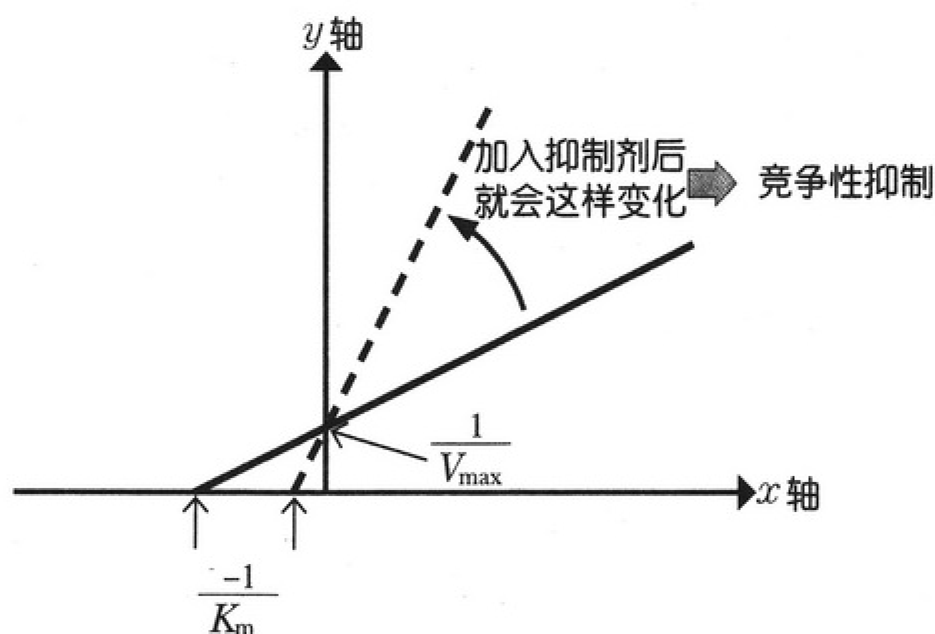
所谓竞争性抑制是指与酶底物相似的物质在酶与底物常结合的部位与酶结合起来，从而干扰酶促反应的抑制机制。



※ 活性中心是指酶与底物结合并接受酶促反应的部分，也被称作“活性部位”。

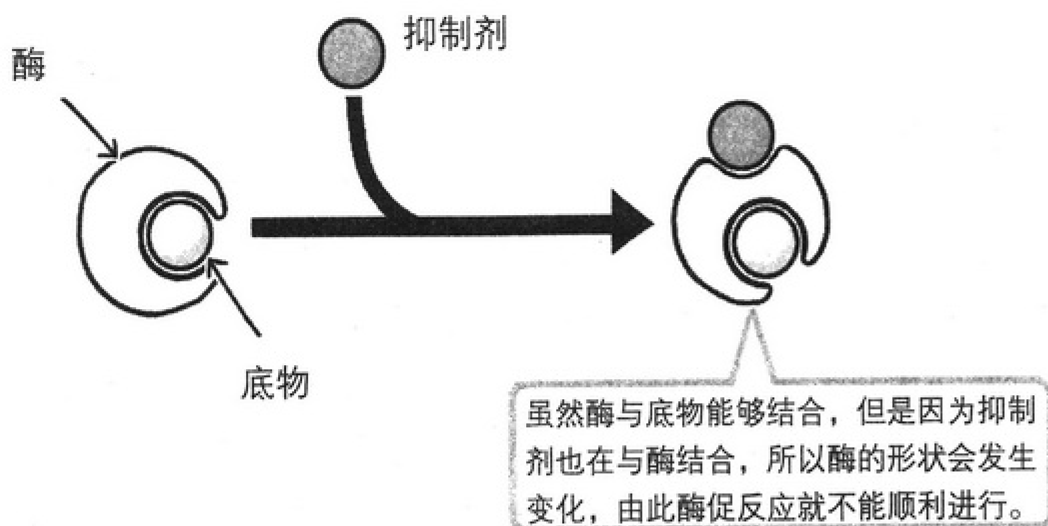
其结果虽然不会影响酶的最大反应速度 V_{max}，但是对于酶来说，这意味着因为有了抑制剂的存在，底物的浓度就降低了。所以，对于相同数量的酶和底物，要达到酶的最大反应速度，K_m 值就会增大。

因此，当抑制剂干扰酶的方式为竞争性抑制时，如果利用“莱思威佛－伯克作图法”作图，直线的斜率就会发生如下的变化，即斜率变大。此时，直线与 y 轴的交点没有发生变化。



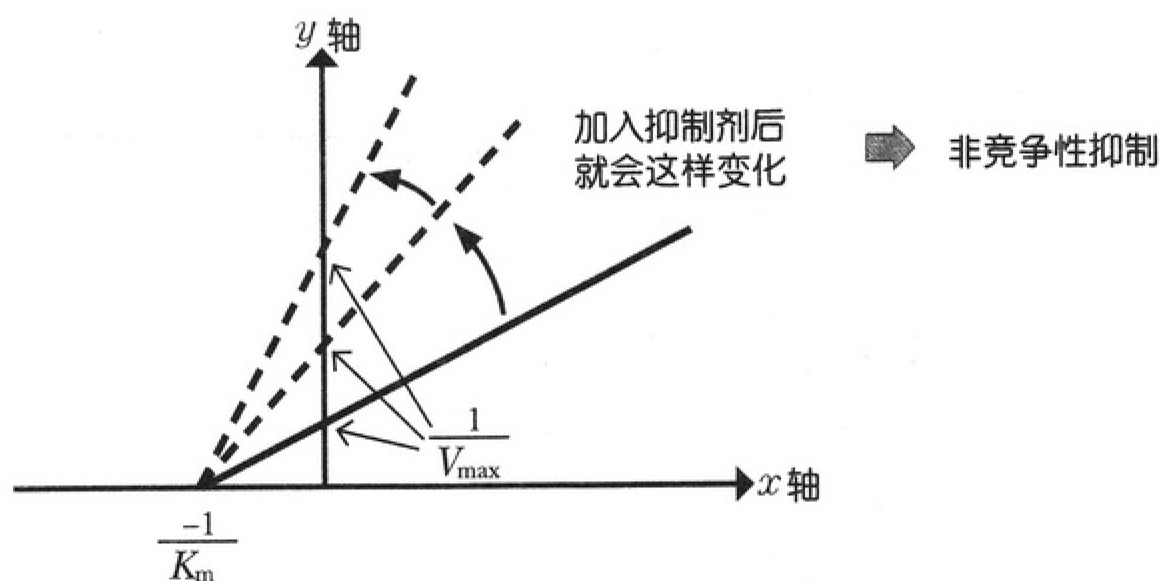
虽然直线与 y 轴的交点 $1/V_{max}$ 没有发生变化，但是其与 x 轴的交点 $-1/K_m$ 会发生变化。也就是说，当使用抑制剂后再进行测定，根据测定结果所作成的图发生这样的变化时，就能够得知所使用的抑制剂是通过“竞争性抑制”方式来干扰酶促反应的。

另外，所谓非竞争性抑制是指抑制剂在与酶和底物结合部位无关的部位与酶结合起来，从而干扰酶促反应的抑制机制。



在这种情况下，抑制剂并未从根本上影响到酶与底物的结合，所以没有对 K_m 造成丝毫影响。但是，因为抑制剂干扰了酶促反应本身，所以随着抑制剂的增加，最大反应速度就会不断地变小。

因此，当抑制剂干扰酶的方式为非竞争性抑制时，如果利用“莱思威佛－伯克作图法”作图，直线的斜率会发生如下的变化，即斜率还是会变大。但是与“竞争性抑制”情况不同的是直线与 x 轴的交点没有发生变化，但是直线与 y 轴的交点会发生变化。



如上所述，抑制剂是一种能干扰酶促反应的物质，所以利用它能够用来探索和研究酶的结构以及酶的反应原理，并且还能进一步地将它应用到抑制癌细胞酶、扼杀癌细胞等研究中去。



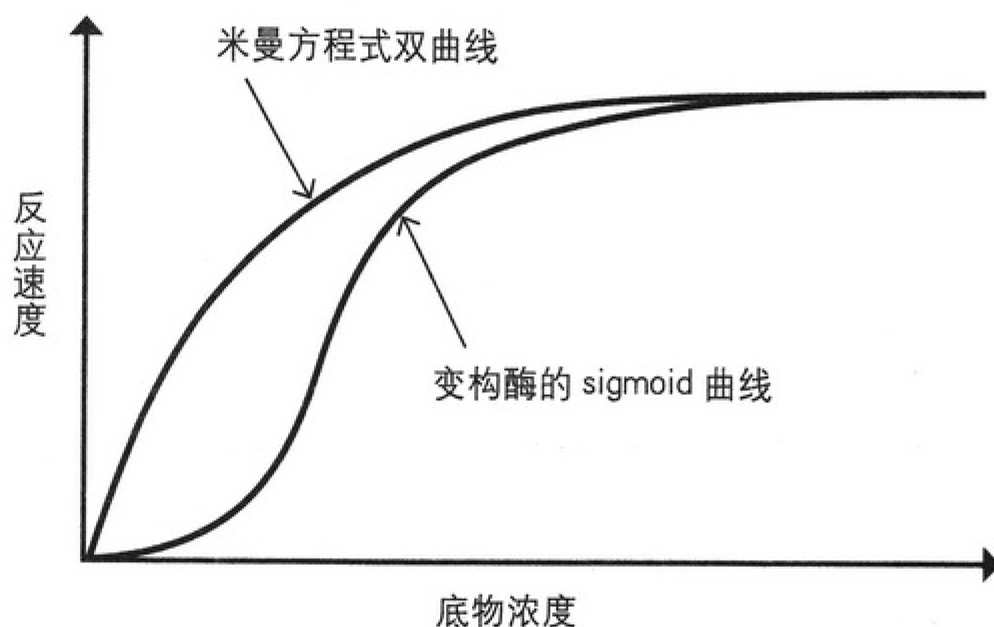
变构酶

在本书中我们一直都在介绍能够适用米曼氏方程式的酶促反应，但是在有些酶中，也有很多酶不能适用米曼氏方程式但却能显示其活性。

其中有一种由许多亚基所构成的酶，它当中有些酶会发生被叫做“变构效应”的活性变化，我们将这样的酶叫做“变构酶”。例如，有时与酶中某一个亚基相结合的底物会使酶发生立体结构变化，这样会产生底物更容易与其他亚基相结合的效果。

在这种情况下，表示底物浓度和反应速度关系的曲线就不是适用于典型的米曼氏方程式的双曲线，而是呈 S 形的“sigmoid 曲线”。

有关这种曲线的详细内容我们就省略了。酶促反应并非都是像这样按照一定的方式而发生的简单反应，它是一种包含了各种各样的反应形式、并且相当复杂的反应。



今天的内容稍微有点难，没问题吧？

擦

ん一っ

嗯！

虽然图表和计算有点难，但是最后我都会了，我非常高兴！

咚咚

我很喜欢酶！我觉得它就像一个好人！

啊？

酶能够降低围墙的高度、帮助我们跨越高墙吧？

谢谢

呵呵

呵呵！
说到底，你的感觉就是那样啊？

不过，我也觉得酶的任务似乎很有意思。

ウフフ

某个男孩子暗恋一个女孩子，但是他们中间却有一堵高墙……

不过，有了和蔼可亲的酶的帮助，那堵高墙就变矮了。

加速两个人关系也是酶的作用哦！嗯，嗯……

黑坂老师！不要说这个了，说说下次课要讲的内容……

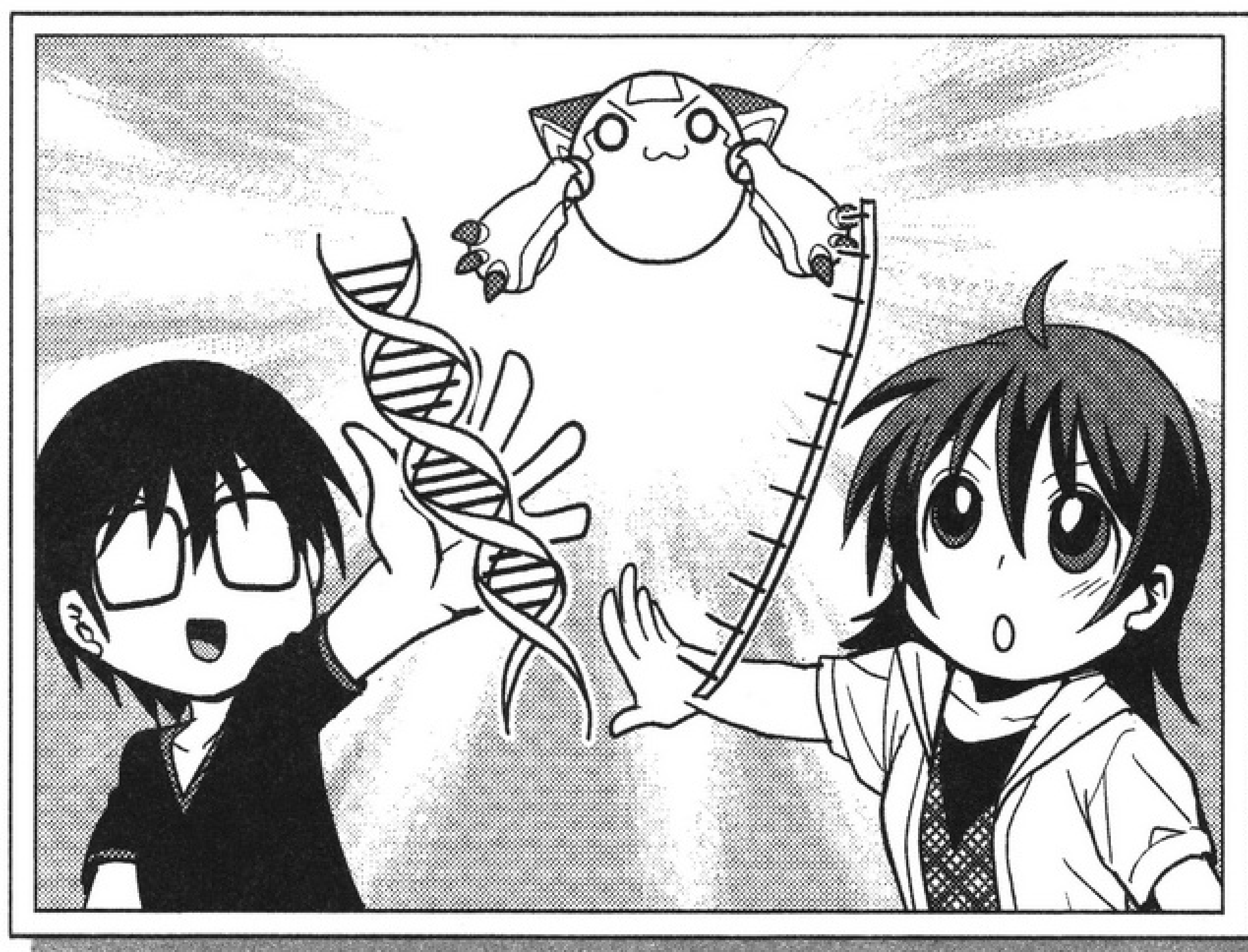
他怎么了？

对哦！
下次是我们的最后一节课。
我也很期待！

下次就是最后一节课了啊？
真舍不得啊……

啊——

第5章 关于核酸的生物化学和分子生物学




早上好！
早饭还没有做好吗？
好了，好了。
现在就可以吃啦！
我要开动啰！
最近你开始好好吃早餐了啊！
啊呜
啊呜
以前你不是嚷嚷着已经绝食了，不需要早餐的吗？





并且，今天最后一节课结束后……

好好努力哦！
这是减肥的秘诀！

太感谢了！

久美的想象

黑坂老师就会将减肥秘诀传授给我了！





1. 核酸是什么？

何谓核酸？

在学习生物化学也就是有关生物体的化学方面，除了之前我们学过的蛋白质、脂类、糖类以外，还有一种非常重要的物质，

那就是一种名叫“核酸”的物质。因为它是一种大量地存在于细胞“核”中的酸性物质，所以被命名为“核酸”。

首先我们通过微型机器人观察过细胞核吧。
它被称作DNA仓库。



嗯，一个又大又圆的东西。
看起来就很重要。
我觉得放在最后一节课讲正合适。

核酸用一句话来说，它是“基因的本体”，并且是基因发挥其功能所不可或缺的物质。

核酸

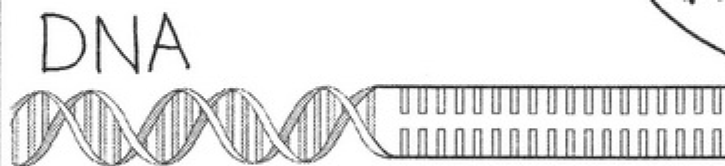
啊，我知道！
DNA是基因的本体吧？

对！但是并不是所有的DNA都是基因。

没错！基因是携带有遗传信息的DNA序列，同时也被称作蛋白质的设计图。

合成蛋白质所需的氨基酸序列信息（排列方式和数量）会以密码形式被转录到核酸内，那个以密码形式被转录到核酸内的物质就是基因※。

DNA



基因　　基因

※ 准确地说基因也包含“RNA（不会被翻译成蛋白质的 RAN）的设定图”。

食谱

蛋白质

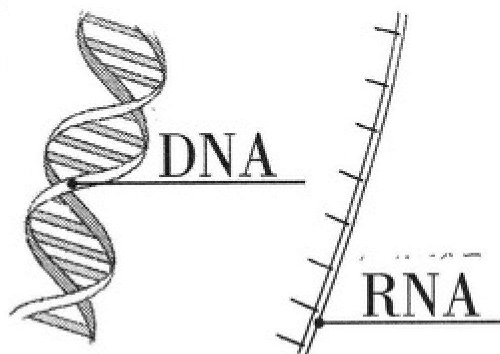
(请参考 P19)

嗯嗯

啊，我想起来了。
被转录到位于细胞核中的
DNA 内的物质就是基因！

以基因这个设计图为基础，就能合成蛋白质。

现在，
我们都知道核酸包括
“DNA(脱氧核糖核酸)”
和“RNA (核糖核酸)”
这两种了。



实际上在蛋白质被合成前，不仅需要
DNA，而且也需要 RNA。
RNA 在蛋白质的合成过程中也发挥着
非常重要的作用。

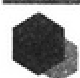
DNA → RNA → 蛋白质
(包含遗传基因)　转录　翻译

DNA 我曾听说过，
也曾观察过它的
形状。

但是，RNA 我就
不知道了。

对啊！
RNA 一般都不被太多人
所知。

但是，最近我开始明白：
RNA 对我们生物体来说也
是一种相当重要的物质。



由米歇尔发现的核素



瑞士生物化学家弗雷德里希.米歇尔（1844—1895）有一次从附近医院包扎过伤口的绷带上附着的白细胞中发现并提取出一种新的物质。

包扎过伤口的绷带上附着的白细胞。也就是指伤病患者身上的“脓细胞”。



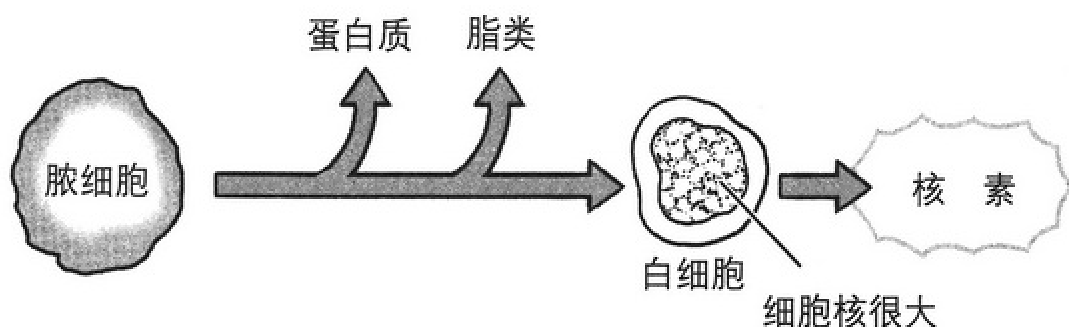
弗雷德里希•米歇尔
(Friedlich Miescher)



呜呜，听起来有点恐怖……



米歇尔先加入“蛋白质分解酶”去除脓细胞中的所有蛋白质，接着利用“乙醚提取法”来处理脓细胞，从而得到了白细胞。

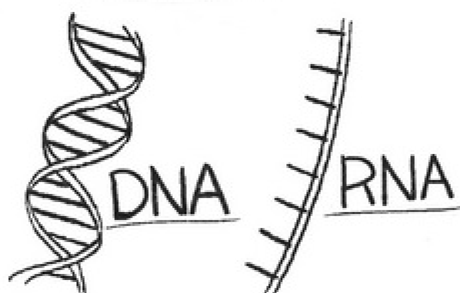




最后从白细胞中得到一种物质显示出强烈的酸性。
因为是在白细胞的“细胞核（nucleus）”中发现的，所以米歇尔就将这种物质命名为“核素（nuclein）。
之后，米歇尔又从鲑鱼的精子中成功提取出核素。这个核素就是之后的“核酸”。并且，在20世纪上半期，发现核酸包含两种类型，即“DNA”和“RNA”。

核酸和核苷酸

那么，在此让我们一起来学习一下有关“核酸”结构的知识！

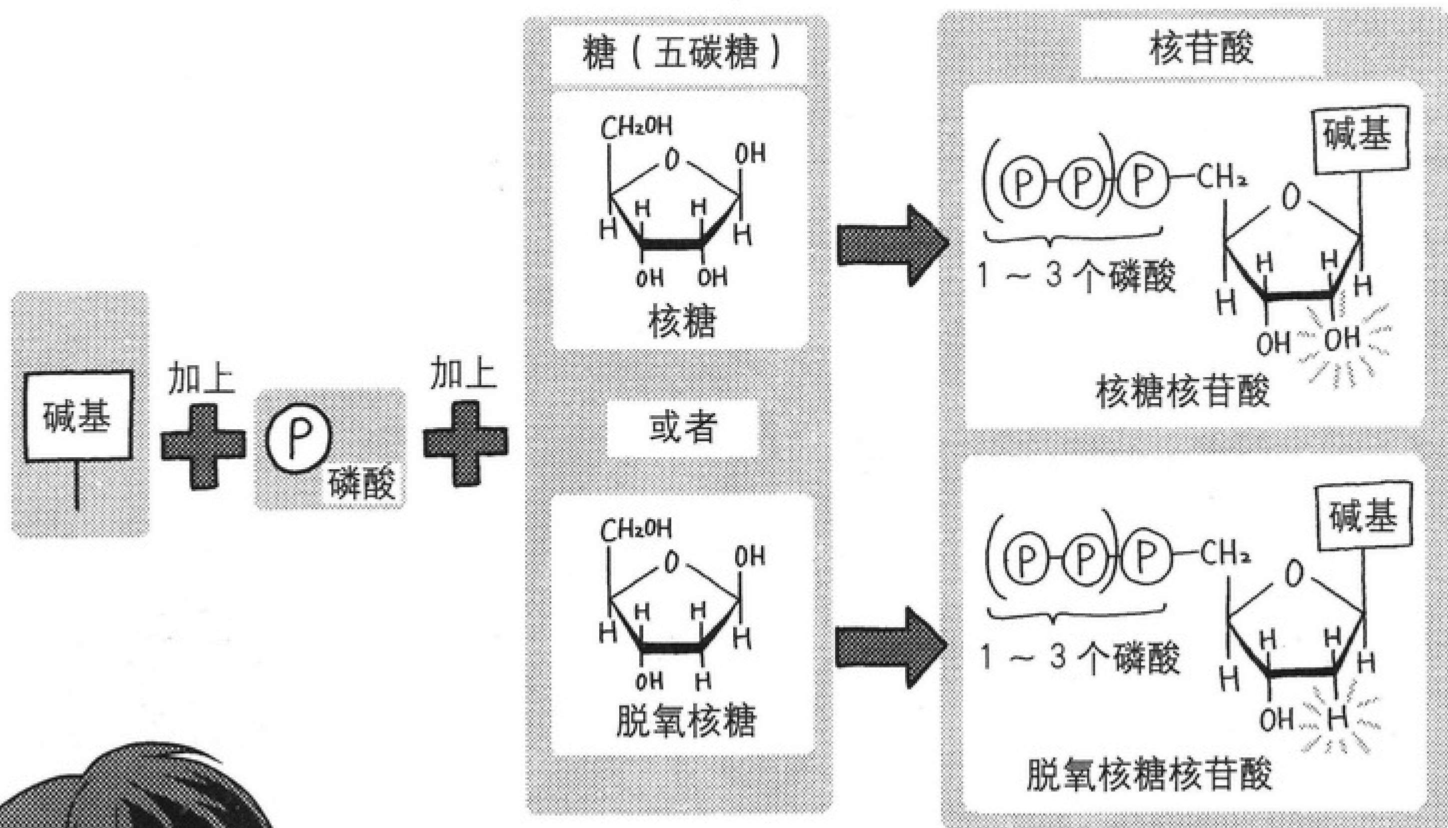


核酸是由“核苷酸”这种物质连接而成的。

嗯！

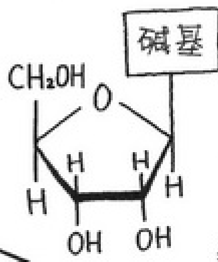
核苷酸在作图时出现过。

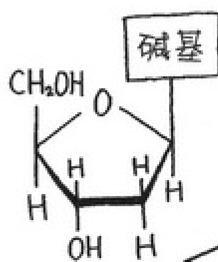
核苷酸是由“碱基”、“五碳糖”以及“磷酸”以如下形式构成的。



欸！

没有磷酸结合时，
就将它叫做“核苷”

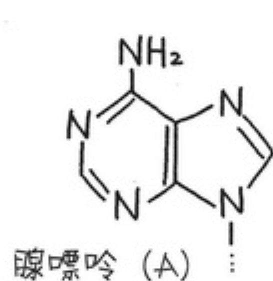


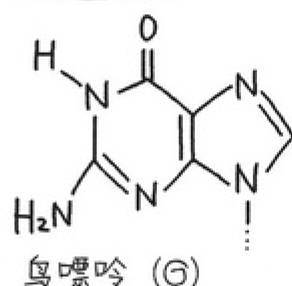


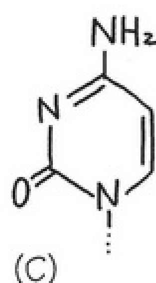
构成核酸的碱基有 5 种，分别为腺嘌呤（A）、鸟嘌呤（G）、胞嘧啶（C）、尿嘧啶（U）、胸腺嘧啶（T）。

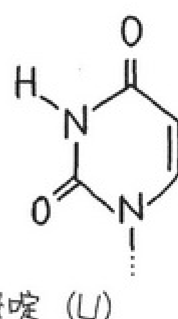
其中，DNA 的碱基有 4 种，分别为 A、G、C、T。
RNA 的碱基有 4 种，分别为 A、G、C、U。









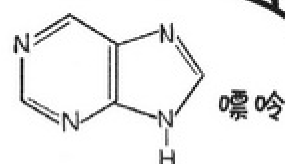




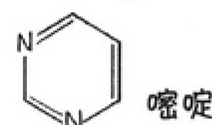
并且，根据它们的结构特点，将 A 和 G 叫做“嘌呤碱基”，将 C、U、T 叫做“嘧啶碱基”。

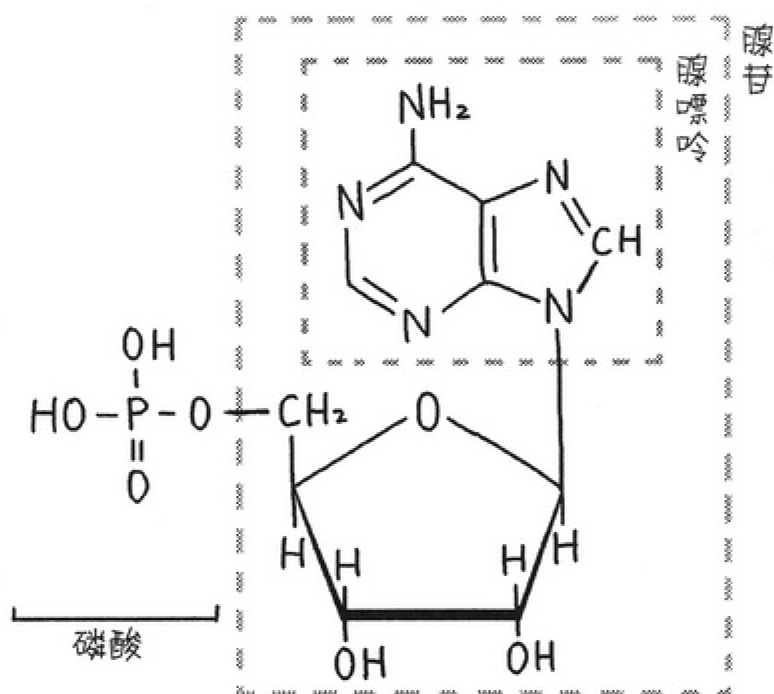
和布丁（嘌呤与布丁的日语读音相似）没有关系吧？
还是……

嘌呤由 1 个六角形环状结构和 1 个五角形环状结构构成。



嘧啶由 1 个六角形环状结构组成。



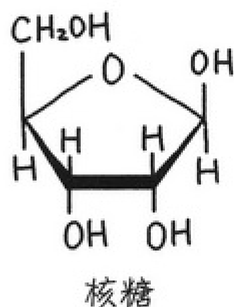


这个图是以腺嘌呤（A）为碱基的核苷酸的结构。

其正式名称为“一磷酸腺苷（腺苷 5'-磷酸）”。

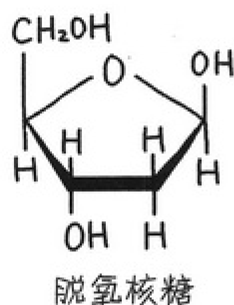
这时的五碳糖为核糖。如果五碳糖为脱氧核糖，那么就会形成“脱氧腺苷一磷酸”。

糖（五碳糖）



核糖

或者



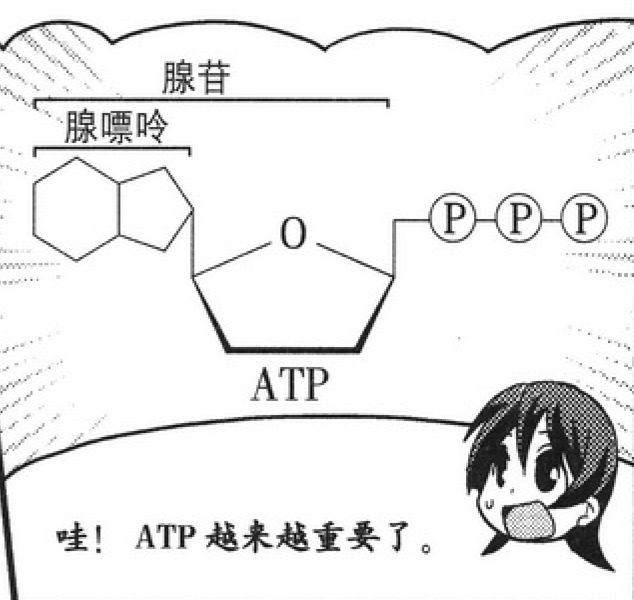
脱氧核糖

同时，在构成 DNA 时，五碳糖为“脱氧核糖”。在构成 RNA 时，五碳糖为“核糖”。

脱氧核糖和核糖，呜呜，我的脑子里很混乱……

你只要记住 DNA 用的是脱氧核糖、RNA 用的是核糖就可以了。
关于其详细内容我在后面会讲的。





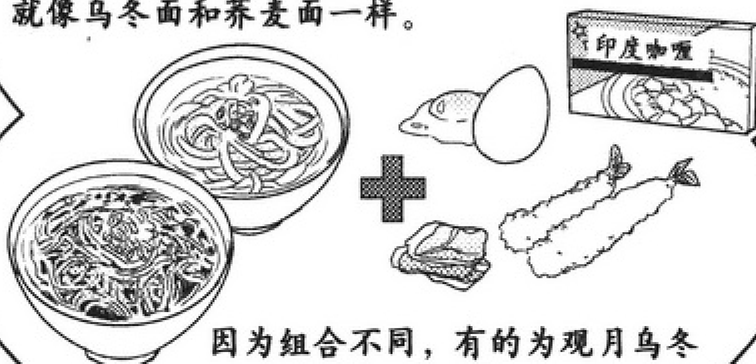
嗯，没错！不过，让我们言归正传！与一磷酸腺苷同理，当结合的碱基不同时,会形成如下结果。

碱基

如果碱基为鸟嘌呤（G），就会形成“一磷酸鸟苷”以及“脱氧鸟苷一磷酸”。
如果碱基为胞嘧啶（C），就会形成“一磷酸胞苷”以及“脱氧胞苷一磷酸”。
如果碱基为胸腺嘧啶（T），就会形成“脱氧胸苷一磷酸”※1
如果碱基为尿嘧啶（U），就会形成“一磷酸尿苷”以及“脱氧尿苷一磷酸”※2

※1　当碱基为胸腺嘧啶（T）时，几乎只存在着带有脱氧苷的物质，所以很多时候不会特意与这个“脱氧苷”结合。
※2　虽然尿嘧啶（U）不是常用在DNA上的碱基，但是也存在着带有脱氧苷的尿嘧啶。

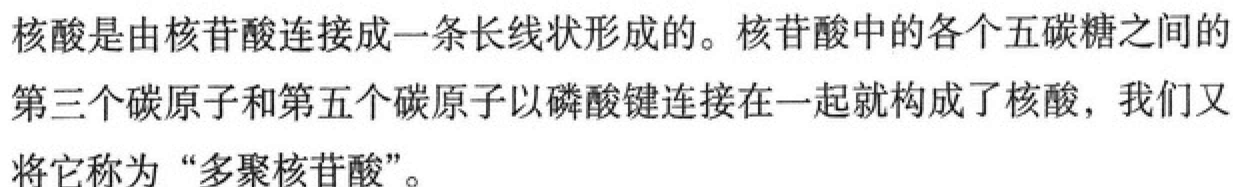
嗯！有2种五碳糖，有5种碱基。
当它们的结合种类不一样时，所构成的核苷酸也会不同。
就像乌冬面和荞麦面一样。



因为组合不同，有的为观月乌冬面，有的为天妇罗荞麦面……



碱基的互补性和 DNA 的结构



核酸是由核苷酸连接成一条长线状形成的。核苷酸中的各个五碳糖之间的第三个碳原子和第五个碳原子以磷酸键连接在一起就构成了核酸，我们又将它称为“多聚核苷酸”。

左边的图看起来像把梳子！

5′ 末端（因为是 5′ 那头的末端，所以为 5′ 末端）

5′ 末端

5 个碳原子上带有 1′ ～ 5′ ※ 这几个数字号码。

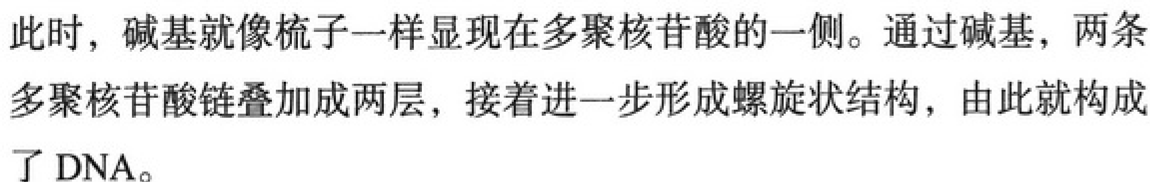
脱氧核糖

3′ 末端（因为是 3′ 那头的末端，所以为 3′ 末端）

3′ 末端

※ 为了与碱基上所带的号码区分开来，就在核苷酸中糖的号码上加上′，并将这个号码叫做 1′、2′ 等。

多聚核苷酸



此时，碱基就像梳子一样显现在多聚核苷酸的一侧。通过碱基，两条多聚核苷酸链叠加成两层，接着进一步形成螺旋状结构，由此就构成了 DNA。

把两把梳子结合在一起……

若形成螺旋状……

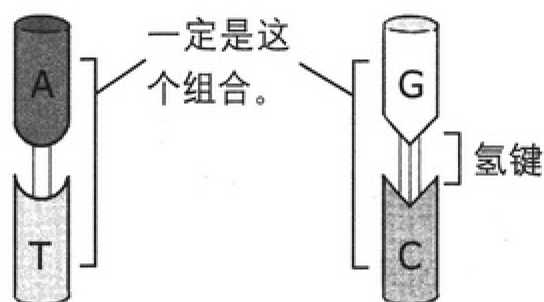
DNA!!

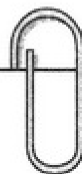


啊！那个像梳子的部分结合在一起就会变成这样啊！



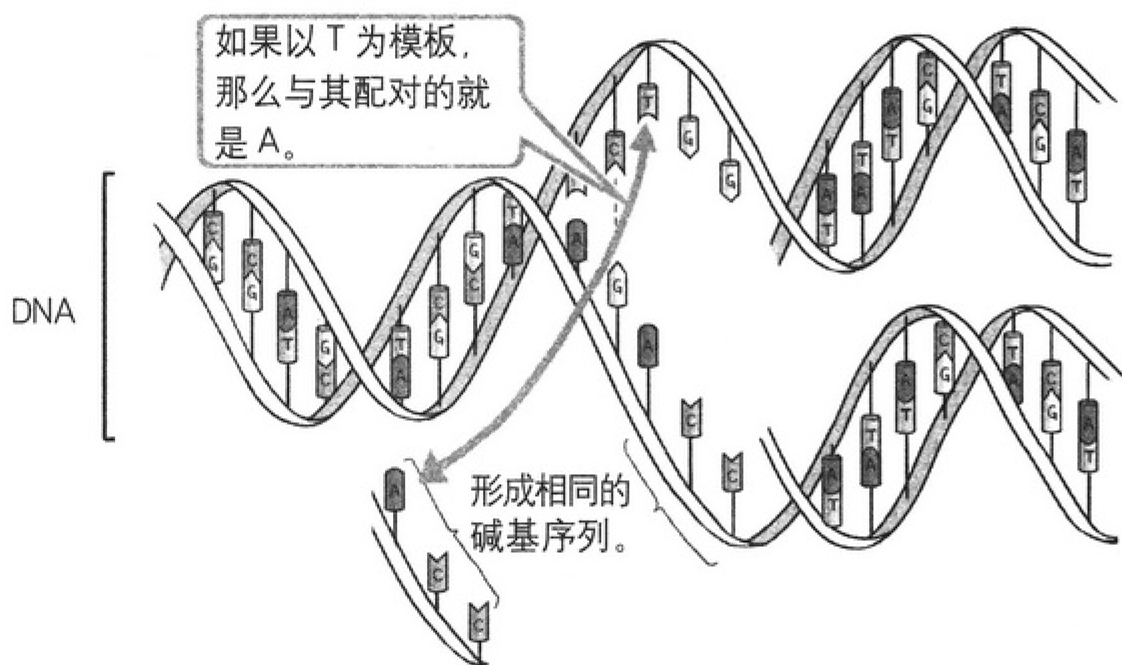
对！也就是说，碱基和碱基通过氢键配对形成“碱基对”，由此多聚核苷酸就变成了两层。但这时的“碱基对”一定是 A 和 T、G 和 C。







我们将碱基配对后形成碱基对的特征叫做碱基的“互补性”。因为有这个特征，所以当 DNA 分子的双层多聚核苷酸链被分成两条链后，会把每条链分别作为“模板”合成新的核苷酸链，新的核苷酸链会重新连接在一起（聚合），其碱基的排列方式与原来的一样，这样就能制作出 2 条 DNA 分子链。也就是说 DNA 分子可以“复制”。





模板就像制作鲷鱼形的豆沙馅点心时所使用的模子一样。



原来是这样啊！因为有了模子，所以就很容易复制。
当碱基对固定后，就会决定做什么合适。也就是说，DNA 就变成了一种容易复制的结构。



DNA 与其他的生物体高分子（蛋白质、糖类、脂类）最大的不同点是 DNA 具有“可复制性”。



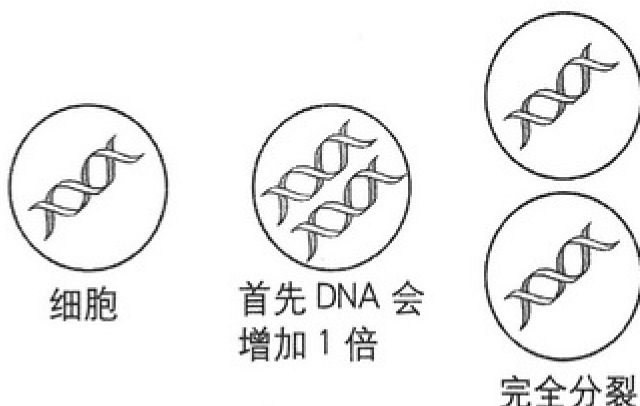
DNA 多聚酶的酶活性和 DNA 复制



那么为什么 DNA 会复制呢？这是因为 *DNA* 就是基因的本体。



基因就是由父母传递给孩子的遗传性物质。也是由细胞传递给细胞的遗传性物质。当细胞分裂时，同样的遗传信息必须被两个细胞来继承，所以在细胞分裂之前就必须复制 DNA。





我感觉这是一个相当宏大的工程啊！



在世界上最先发现可以复制 *DNA* 的酶——“DNA 多聚酶”的人是美国生物化学家阿瑟.科恩伯格（Arthur Kornberg，1918-2007）。



阿瑟•科恩伯格
(Arthur Kornberg)



DNA 多聚酶就是我们求 V_{max} 和 K_m 时使用过的酶。你还记得吗？



嗯！原来它是复制 DNA 的酶啊。酶的功能还真多啊！



1956 年，科恩伯格从大肠杆菌提取液中分离出具有合成 DNA 活性的 DNA 多聚酶。

也就是说，如果使用这种酶，就能够在试管中人工合成出 DNA。从他的自传《从失败开始》（新井贤一监译，羊土社）得知，这一发现当时在美国引起了极大的轰动。



肯定有相当的影响力吧？



那当然！这对学术界来说是一项非常重要的成果，并且这一成果也得到了认可，科恩伯格于 1959 年获得了诺贝尔生理学医学奖。

另外，DNA 多聚酶的正式名称为“依赖 DNA 的 DNA 多聚酶”。这其中包含着这样的含义，即“以 DNA 为模板，将与 DNA 模板碱基对具有互补性的碱基的脱氧核糖核苷酸连接起来的酶”。

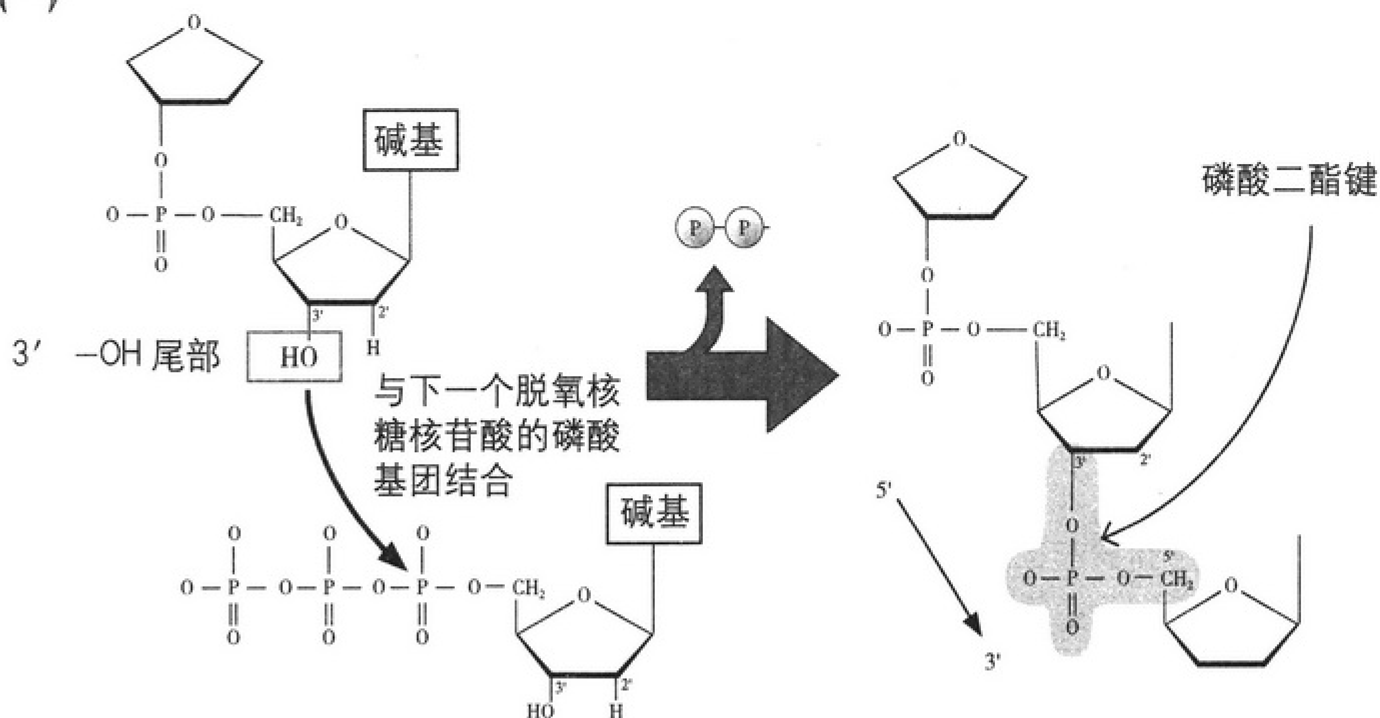




嗯，因为碱基序列是固定的，所以就以模板为参考不断地制作。



DNA 多聚酶作为催化剂可以催化如下的化学反应。



在该反应中，带有三个磷酸基团的核苷酸被作为底物使用



也就是说，DNA 多聚酶的催化作用在于促进了一个脱氧核糖核苷酸的 3′-OH 尾部与下一个脱氧核糖核苷酸的磷酸基团结合生成“磷酸二酯键”的化学反应。



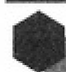
就是促进了应该结合在一起的碱基对的聚合反应吧？



没错！呵呵……

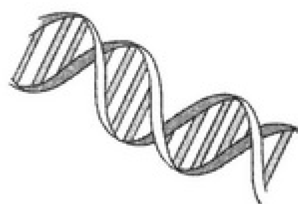


……

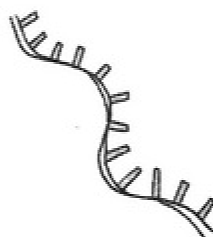
 RNA 的结构



另外，RNA 利用的是核苷酸五碳糖中的“核糖”，很少像 DNA 一样会形成两条多聚核苷酸链，它大体上都是由一条多聚核苷酸链构成的。
不过，根据最近研究显示，好像在细胞中也有很多双链 RNA。



DNA



RNA



刚才你说过 RNA 也是一种非常重要的物质，那么它的功能是什么呢？



是啊！因为这个内容很长，所以我会在后面做详细说明。
（请参考 P220）



好的！



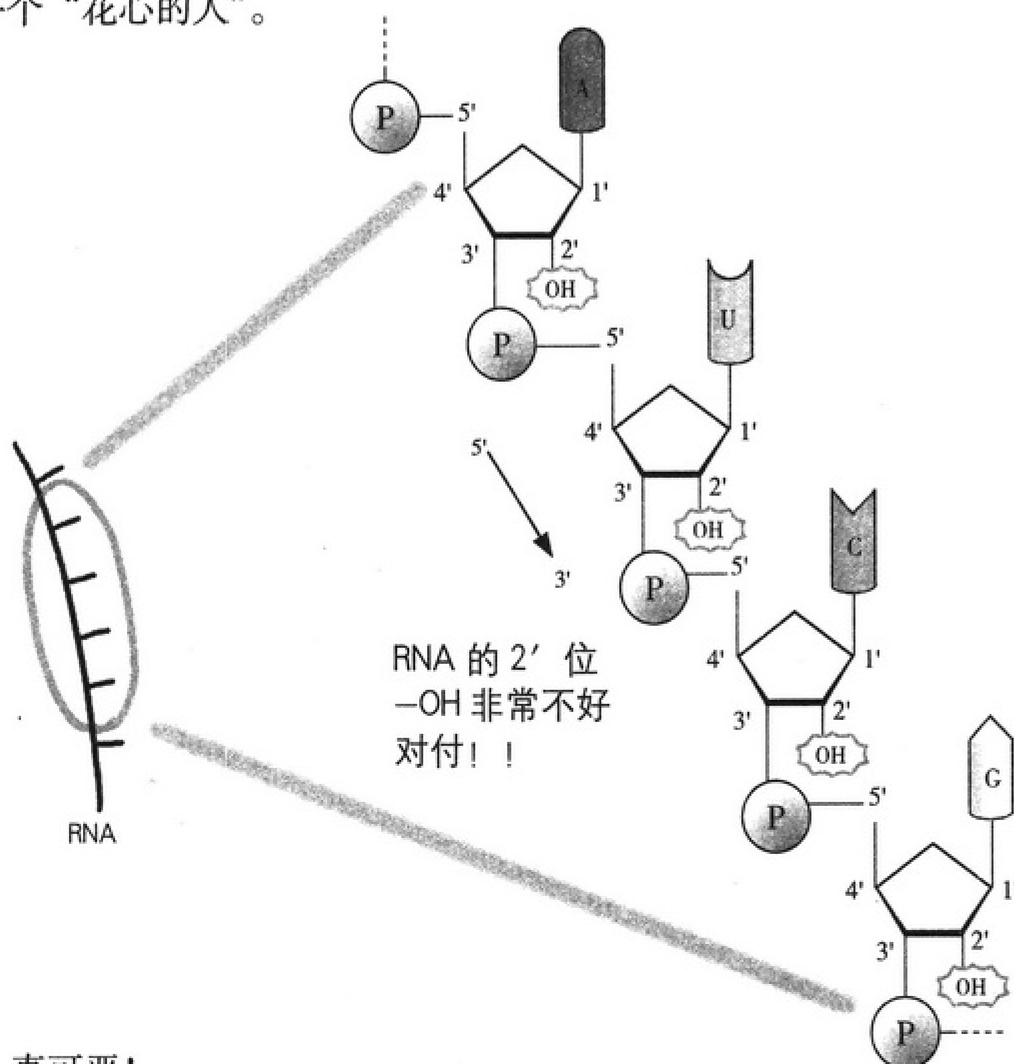
与 DNA 不同的是“RNA 容易分解”。
久美，你还记得核糖和脱氧核糖吗？



是不是在 DNA 与 RNA 中不同的“五碳糖”？



对！如下图所示，构成 RNA 的核糖与 DNA 中的脱氧核糖不同，在其 2′ 位碳原子上连接着羟基（2′ –OH）。这个羟基其实是一种相当麻烦的物质。尤其是其中所包含的氧原子（O）非常不好对付，换句话说它就像一个“花心的人”。





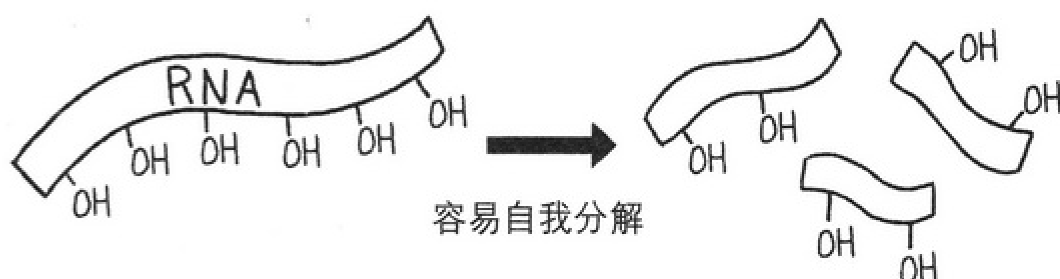
啊！真可恶！



（我可不花心哦！）



实际上，因为这个羟基的存在，RNA 会通过“碱基催化”这一现象而自我分解。



碱基催化的步骤如下。



首先，分布在 RNA 周围的“碱基”（不是 A、U、C、G 这几种碱基），也就是像氢氧根离子（OH^-）之类的具有易接受质子（H^+）性质的物质，会煽动这位“花心者”去恋爱。



实际上，2′ -OH 中的质子（H^+）会被碱基所吸引。



于是，这个“花心者”就开始向拥有美好家庭的“邻居太太”发动进攻。



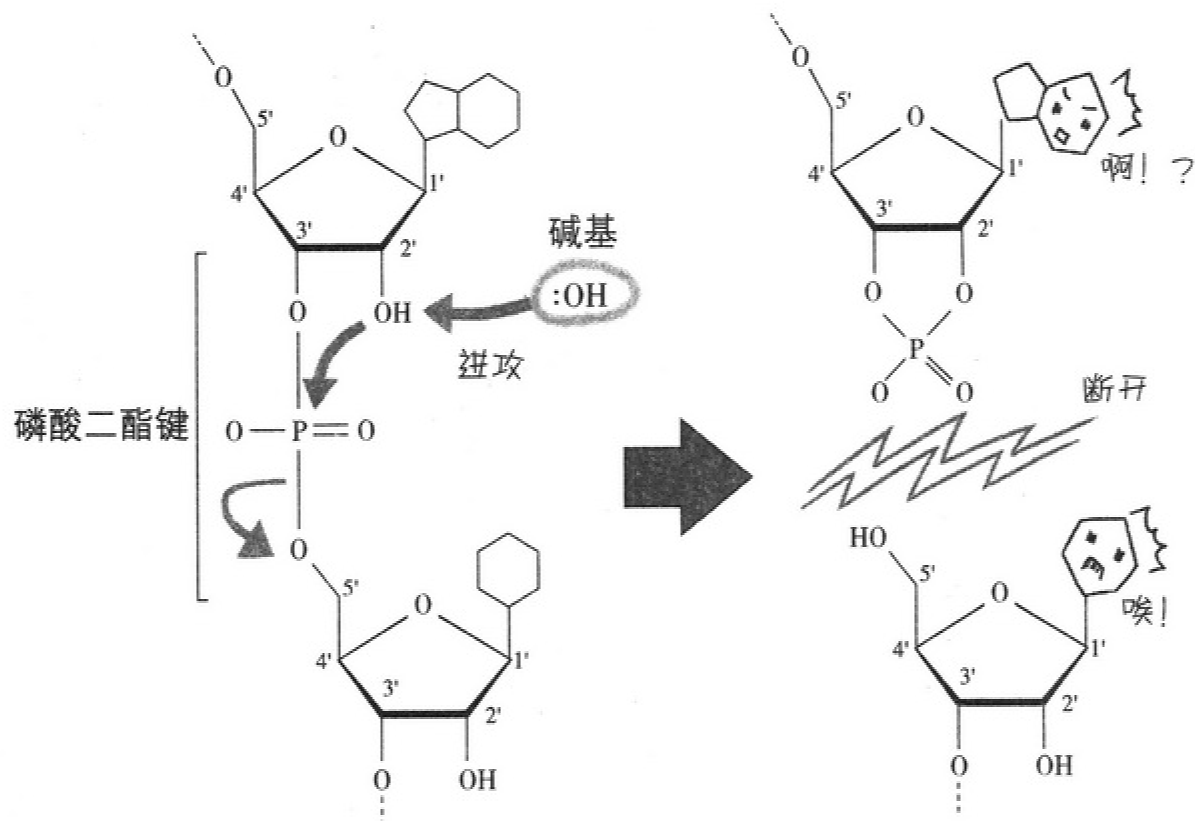
实际上，当质子被吸引后，带有负电荷的氧离子（O^-）会与相邻的 3′ 位磷酸二酯键（也就是将众多多聚核苷酸连接起来的重要的化学键）中的磷（P）结合。



结果，磷酸二酯键就会断裂，RNA 的链也就断开了。



我觉得它就是个粘人的家伙。





正因为 RNA 具有易自我分解也就是“不稳定性”这一弱点，所以不太适合负责遗传信息的工作。因为在 DNA 中没有 2′ –OH，所以它比 *RNA* 要稳定得多。

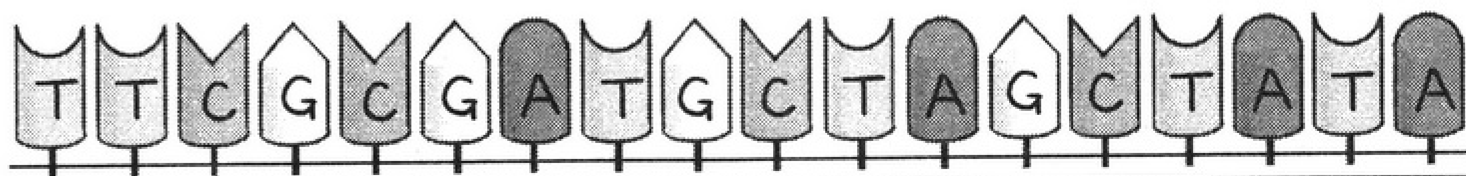
因此，DNA 比 RNA 更适合负责遗传信息的工作。但是 RNA 也被赋予了十分重要的任务。



接着，让我们一起来进一步学习有关这方面的知识吧。

2. 核酸与基因

DNA 是基因的本体



※1 本书中的描述方式是“基因（以碱基序列的形式）被记录在DNA中”。

※2 实际上，基因中的“外显子（exon）”部分被认为是整体的1.5%。

※3 关于内含子，请参考P227。

拥有各种功能的 RNA



不过，久美，你还记得合成蛋白质的“核糖体”吗？

嗯……

呵呵

咣当

是那个像芝麻盐一样的东西吧？但是放大后其结构会变得很复杂就像雪人一样。

（请参考 P27）

核糖体有的附在内质网上，还有很多漂浮在细胞质内。

对！合成蛋白质的“核糖体”就在细胞质中。

可是，DNA 不能从细胞核中出来。

细胞核

细胞质

DNA

细胞

核糖体

啊？好像到了紧急关头了！

无论如何，它都要到核糖体中去。

啊——

※ 在细胞质中飘浮着的线粒体和叶绿体中都含有独特的 DNA。

把基因也就是蛋白质设计图比作信的话，那么让谁做信使好呢？

啊，我希望把这封信交给远方的人……

咕咕

嗯……

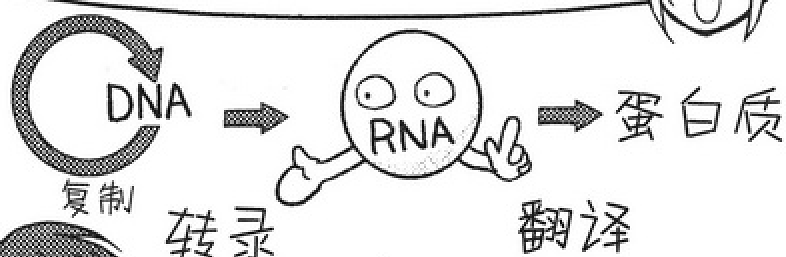
细胞核中的设计图怎么才能到细胞质的核糖体中去？

实际上，此时发挥信使作用的就是“RNA”！

啊！

啊！
是吗？

只有 RNA 才能把记录在 DNA 中的基因，也就是蛋白质设计图读（翻译）出来，这样才能合成蛋白质！



啊！！！
那么，RNA 的功能相当重要啊！

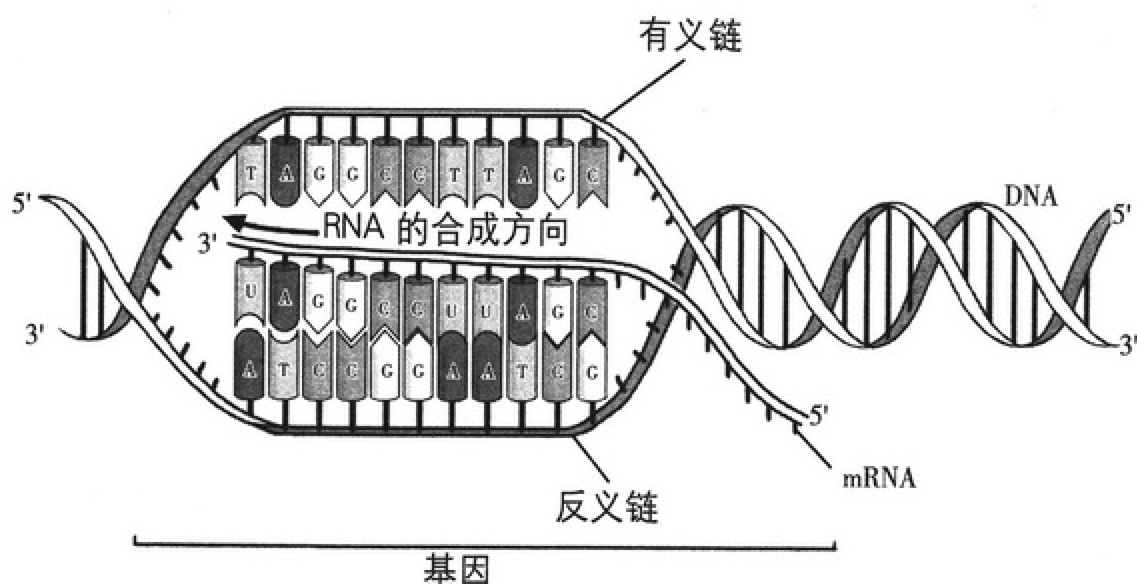
没错！
RNA 的种类也有好多种。

在合成蛋白质时，有 mRNA、rRNA、tRNA 这 3 种 RNA 在分别发挥着各自的功能。

mRNA



首先，记录在 DNA 中的基因也就是那些碱基序列，在“RNA 多聚酶”的作用下被读取出来，进而合成出具有相同碱基序列的 RNA。
我们将这一过程称为“转录”，把被合成的 RNA 叫做“信使 RNA（messenger RNA，mRNA）”。这也是“合成 *RNA*”的化学反应。请看下图中的基因。





在 DNA 双链中，只有一条 DNA 链带有基因（遗传密码）意义（也就是说其碱基序列为设计图），我们将这条 DNA 链叫做“有义链”。与此相对，我们将与有义链互补的那条 DNA 链叫做“反义链”。



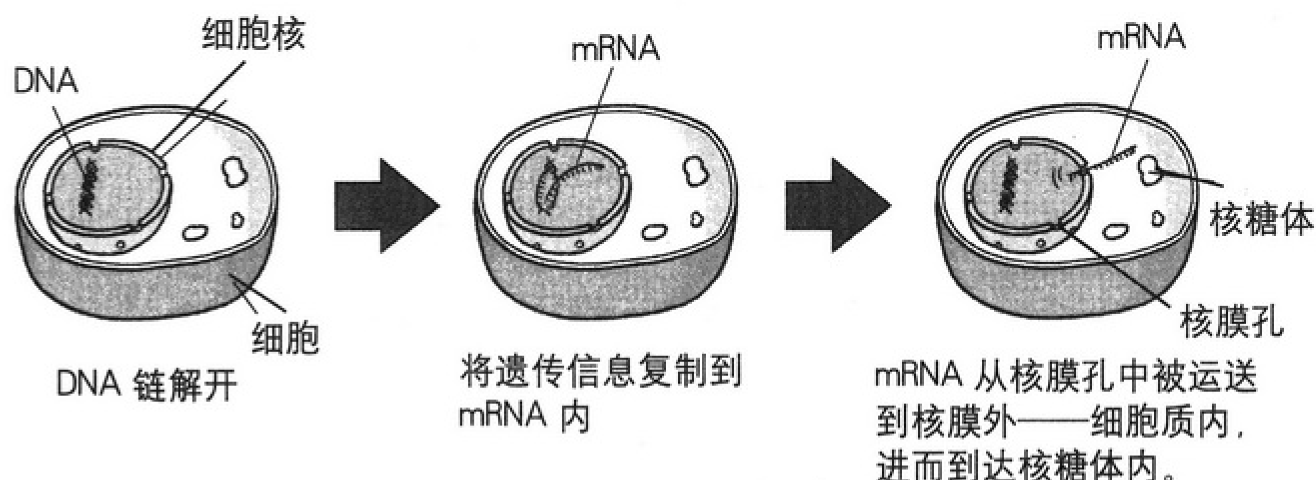
嗯！



mRNA 是以反义链为模板被合成的，所以生成的 *RNA* 的碱基序列与具有遗传密码意义的有义链的碱基序列相同。
不过，在 DNA 有义链中的碱基为“T（胸腺嘧啶）”的部位，在 mRNA 中的碱基就变成了“U（尿嘧啶）”。



准确地说，被合成的 mRNA 应被称为“mRNA 前体”。这个 mRNA 前体要经过各种处理※（这些处理过程也是各种化学反应）才能变为真正的“mRNA”，然后就会从细胞核中被运送到细胞质内，进而到达核糖体内。





它运送走了非常重要的信息。所以我们将它叫做信使（指令）。

rRNA 和 tRNA



核糖体是由几种名叫“核糖体 RNA（ribosomal RNA，rRNA）”的 RNA 和几十种“核糖体蛋白质”组成的巨大的宇宙空间基地。



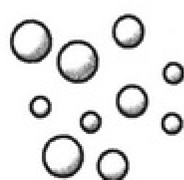
没有线粒体和叶绿体大吧！



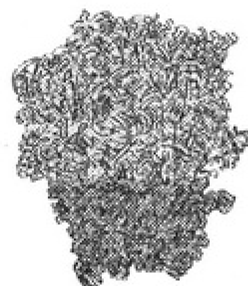
虽然它看起来像小颗粒，但是却非常宏大。



加上







rRNA　　核糖体蛋白质　　核糖体！

※ 如剪除“内含子”部位的“基因剪接”等处理（请参考 P227）。



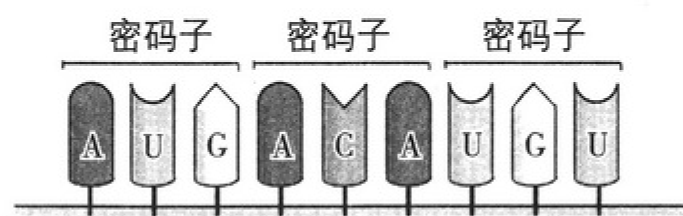
还有一种名叫“转运 RNA（transfer RNA，tRNA）”的 RNA，它是到达核糖体内的 mRNA 上碱基序列（即遗传密码子）的识别者和氨基酸的转运者。



所谓转运（transfer）包含着转移氨基酸的意思。



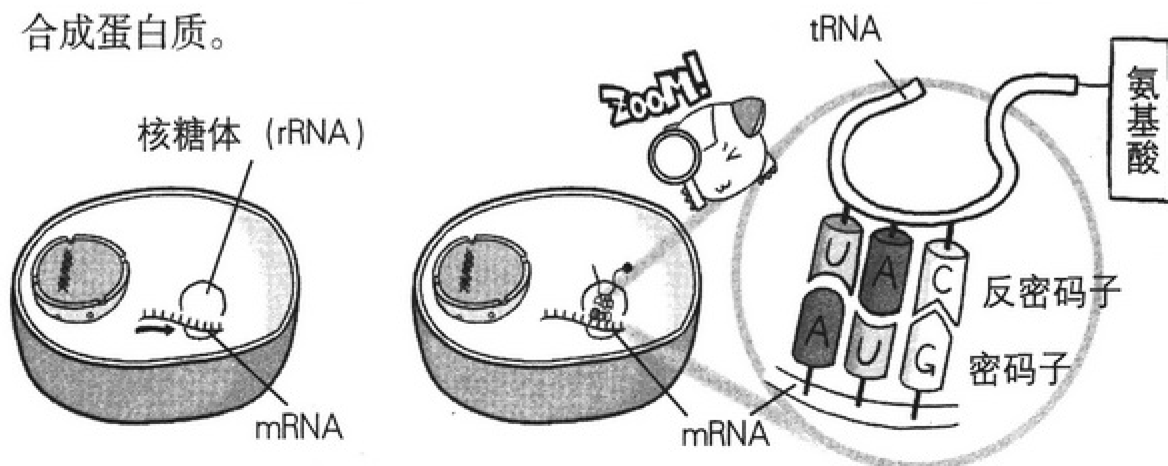
mRNA 上的碱基序列会成为氨基酸序列的密码。实际上，3 个碱基序列就会形成 1 个氨基酸密码，我们将这 3 个碱基序列叫做“密码子”。





也就是说，因为 tRNA※ 携带有能够与 mRNA 上的密码子互补配对的碱基序列“反密码子”，所以只有它才能把所携带的氨基酸运送到核糖体内一定的位置。

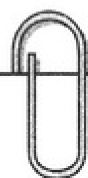
rRNA 的功能就是把 tRNA 运来的氨基酸连接成长链。这样，根据 mRNA 上的碱基序列（也就是密码子的序列）所确定的氨基酸就会连接起来，于是就会按照原来的 DNA 上的碱基序列（基因、也就是设计图）合成蛋白质。





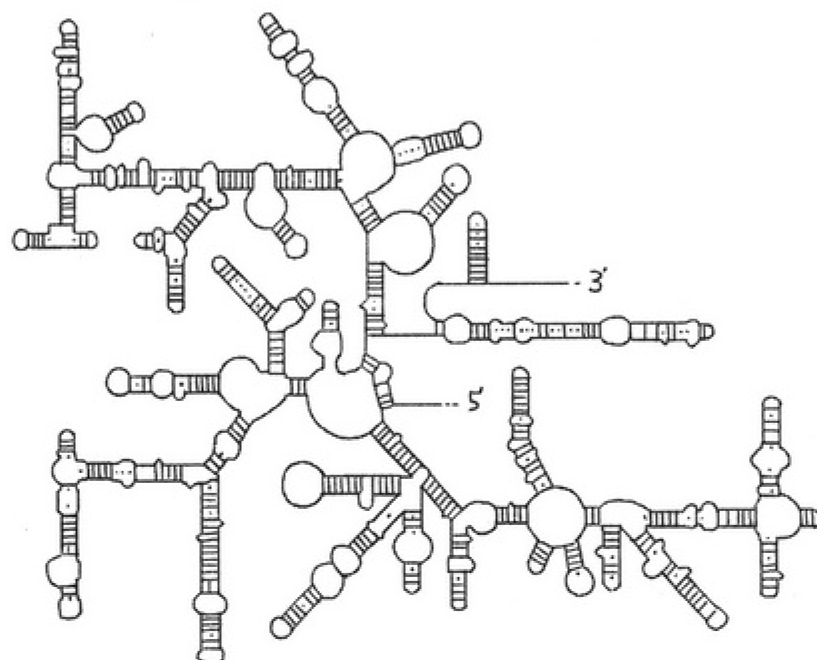
嗯。也就说，遗传信息是按照“DNA → mRNA →（tRNA →）蛋白质”这一顺序来传递的。

※ 所转运的氨基酸的种类由 tRNA 上的反密码子决定。





另外，这是一种 rRNA 分子。





……?



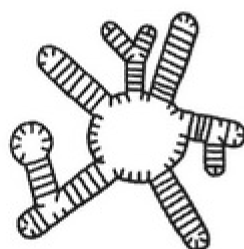
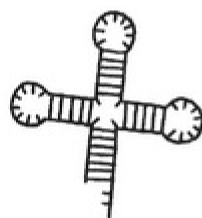
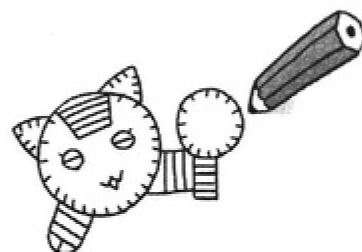
仔细观察一下，就会明白一条 RNA 分子链被折叠成了很复杂的结构。



啊，确是如此！

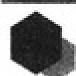


一条 RNA 分子链按照一定的规律折叠后，会构成一定的“形状”。这是因为在一条 *RNA* 分子链中的碱基与碱基之间会配对形成碱基对。那些看起来像阶梯一样的东西就是那样形成的。实际上这正是 DNA 没有而 RNA 所具有的特征。也就是说，RNA 因为碱基序列的不同可以构成各种不同的形状。



好有趣哦！好像画一笔就可以成形了一样。

 核酶（ribozyme）



RNA 与稳坐在细胞核中的 DNA 不同，它均存在于细胞核和细胞质中。并且只要改变一下它的碱基序列，就能得到各种不同的形状。



所以说它是一种非常“灵敏”的分子。



对。因此 RNA 研究者们之前就一直认为：RNA 不仅仅具有 mRNA 所代表的“基因复制”这一功能，而且还具有其他更重要的功能。

在 19 世纪 80 年代初期，美国分子生物学家西德尼·奥尔特曼（Sidney Altman）与美国生物化学家托马斯·罗伯特·切赫（Thomas Robert Cech）都独立发现了核酶（ribozyme），可以说核酶的发现预言了以后 RNA 研究的发展。

我们曾经学过蛋白质最重要的功能就是其作为“酶”所发挥的功能（请参见 P153）。

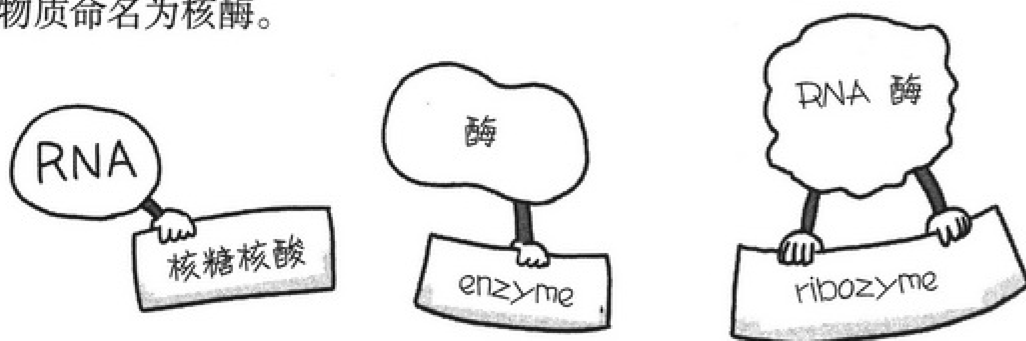
实际上切赫和奥尔特曼发现 RNA 也具有酶所具有的功能。

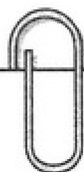


欸！



因此就将 RNA（核糖核酸）和酶（enzyme）结合起来，将这种新发现的物质命名为核酶。



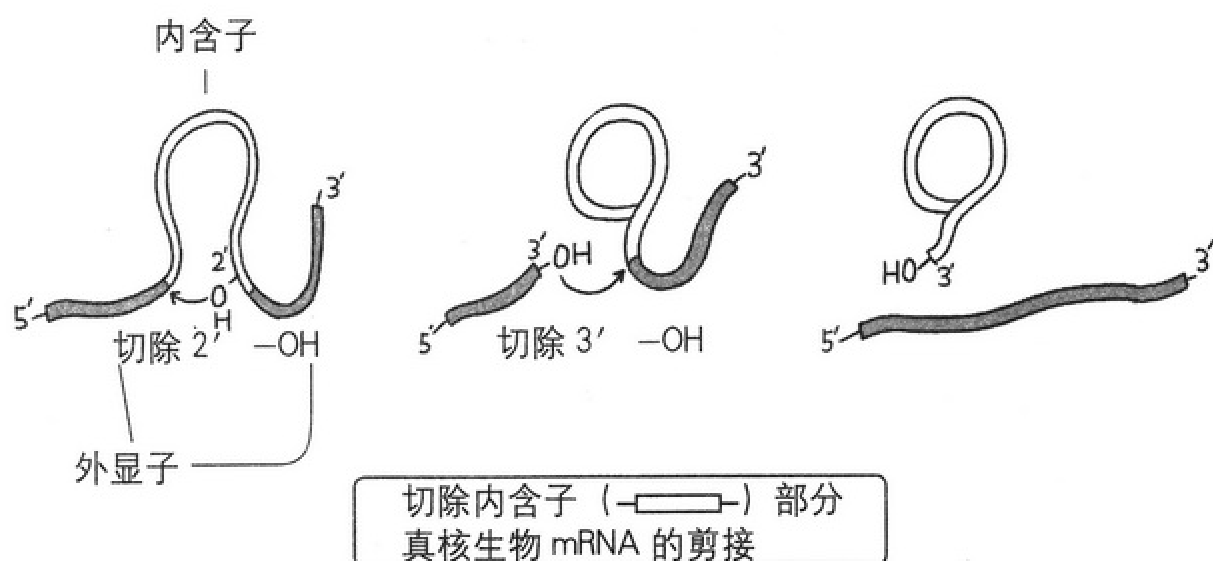




之前所发现或人工合成的核酶大多都能够切割和连接 RNA 或 DNA。
切赫发现的这类酶可以自剪接（self-splicing），它能催化通过自身切除对蛋白质设计图功能无意义的部分（内含子），连接对蛋白质设计图功能有意义的部分（外显子）的化学反应※。



在剪接中，涉及的对象大都是 RNA 中像 2′ –OH 和 3′ –OH 之类的羟基（–OH）。





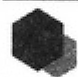
哇！变成了 1 个环！



从核酶被发现之后，认为 RNA 其实是一种多功能分子的观点越来越普遍，由此对 RNA 的研究也取得了很大进展。
到了 21 世纪，逐渐发现 RNA 还有其他各种各样的功能，并且在细胞中存在着各种形态的 RNA。现在正是研究 RNA 的黄金时代。我们对它以后的研究充满了期待。

※ 真核生物的遗传基因中的外显子会被名叫内含子的碱基序列隔断成好几段，因此在 mRNA 转录阶段必须切除内含子从而把保留的外显子连接起来，我们将这个反应叫做剪接（splicing）。

3. 生物化学和分子生物学



一切都从“充满泥土气息的工作”开始

现在，人类与自然接触的机会正在逐渐减少，尤其在都市里。特别是年轻的母亲，有些人看到孩子身上沾点泥土，就觉得很脏，甚至会狠狠地骂孩子。

但是，人本来就是属于生物中的一类，从古至今一直都在自然的怀抱之中生存着。

生物化学是一门从“化学”角度来研究生命现象的学问。其研究的材料是自然的产物，即“生物”本身。

我在读研究生时，为了研究一种植物中大量含有的某种蛋白质，曾经去山上采集那种植物。

我和我下一届的一个学生一起乘坐导师的车，来到了附近的山上。我们在多种植物茂密丛生的山路上行驶着，到达车不能通过的地方后，就开始双足跋涉。我们穿过郁郁葱葱、枝叶繁茂的树木和草丛，终于采集到了我们所要找的植物——“美国商陆”。

接着，我们将采集到的美国商陆带回到研究室中，将它上面的泥土洗净后，用刀和剪刀将其切割开，从中提取出我们想要的“蛋白质”。

并且，有时候我们会定期地到附近的肉食加工场去，将刚分割完的牛的“胸腺”器官（因为它不会出售，只能扔掉，所以我们一般都会免费得到它）带回来，然后在研究室中用剪刀将其剪碎并把它作为实验用的标本保存在冰箱中。这也是为了从牛的“胸腺”中提取我们研究所需的蛋白质（DNA 多聚酶）而必须做的事情。

诸如此类，生物化学本来就是一门以从生物材料中提取化学物质，然后研究这些物质的化学性质这一方法论为母体而发展起来的学问。

与此相对应，分子生物学是一门以生物的设计图“DNA”和根据此设计图所合成的“蛋白质”等“生物体高分子”为中心来解释和探索生命现象的学问。

简单而言，对分子生物学者来说，只要能处理 DNA 和 RNA 或者只要具备人工（使用大肠杆菌等）合成蛋白质的工作环境，就不需要使用牛的器官、植物材料之类的生物材料。

因此，分子生物学的方法论实在是高明。分子生物学者所得到的资料一般都是

有关 DNA 和蛋白质分子之类的“数字性”资料。分子生物学经常会与生物技术这个词结合在一起使用，总是让人感觉到它就是一门使用了“最先进”技术的超酷的学问。它不会沾染到山里的泥土、不会沾染到动物的血。

因此，在生物化学家中，有人经常把自己的研究工作用“充满泥土气息”这样的词汇来概括。包括我认识的一些生物化学家也是如此，也就是说在他们的心里总有一种低人一等的感觉。

但是，正是因为反复不断地进行那些充满泥土气息的工作，才会奠定了分子生物学基础。这也是不可否认的事实。我想有很多年轻的分子生物学者除了使用大肠杆菌、栽培细胞、实验动物以外，还从未使用过生物体材料。生物化学和分子生物学从很久以前一直到现在都有着千丝万缕的联系，请大家千万要记住这一点。

在试管内也能观察到的生命现象

1897 年，德国生物化学家爱德华·比希纳（德语：Eduard Buchner）发现在酵母细胞提取液中会产生“发酵”现象，该发现具有划时代的意义。

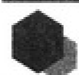
之前，人们一直认为，发酵这一生物特有的反应不可能在没有生命的细胞中发生。但是，比希纳的发现彻底粉碎了这一观点。

由此，生命现象只有在生物所具有的特有力量（生命力）作用下才会产生这一生命论几乎消失殆尽。同时，这也为在试管中研究生物体所发生化学反应的学问——生物化学的发展奠定了基础。

因为比希纳的发现所得出的结论就是“即使在没有肉体的生物体中也可以发生生命现象”，所以可以说它的发现预见了未来“分子生物学”的到来。

随着对 DAN 和蛋白质的了解，我们逐渐开始明白在生物的根底中存在着一切生物所共有的机制。比如，一切生物都带有作为遗传基因本体的 DNA、读取基因密码合成蛋白质的基本原理（中心法则）是一切生物所共有的、大多数时候同样的蛋白质在所有生物体中都发挥着同样的功能等。

于是，在研究这些生物共同机制方面比较重要的就是发展一些方法论。比如，如何处理设计图 DNA，并且如何从中去弄清蛋白质的功能等。



重组 DNA 技术的发展

1972 年，美国的分子生物学家保罗·伯格（Paul Berg）在试管中人工处理 DNA，成功合成出自然界中不存在的 DNA。这是在世界上首次获得成功的重组 DNA 实验。自此之后，重组 DNA 的实验开始在世界范围内展开。

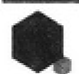
1977 年，英国生物化学家弗雷德里克·桑格（Frederick Sanger）发现了简单破解 DNA 上的碱基序列密码的方法。1985 年，美国生物化学家凯利·穆利斯（Kary Banks Mullis）发明利用“聚合酶链反应法”（PCR），该技术可从极其微量的样品中大量生产 DNA 分子。这样，DNA 重组实验技术取得了飞跃性的发展。

重组 DNA 之所以能够快速发展就是因为我们已经明白 DNA 就是基因的本体，也就是基因是以碱基序列的形式被写入 DNA 中的。并且众多的生物学家也因此认识到只要有 DNA 的碱基序列就能够根据它创造出合成蛋白质的环境，就能够解释和说明与蛋白质有关的化学反应的总体——生命现象。

比如，即使不做那些“充满泥土气息”的工作，也能够将基因从外部导入到像大肠杆菌那样结构简单而又容易处理的生物中来合成蛋白质，而且还能够一下子合成出大量的蛋白质。

总之，关键在于了解 DNA 上的碱基序列，了解基因。

也可以说，分子生物学就是以此为目的发展起来的。重组 DNA 技术就是为此目的而产生的方法论。



向生物化学回归

但是，在人类基因组计划（Human Genome Project）（旨在辨明人类所有基因信息的国际共同计划，2003 年完成）暂告一段落后，研究者们又将目光从 DNA 上再次转移到蛋白质上，进而又转向了 RNA。

由此，进入了“后基因组时代（Post-genome era）”。

DNA 如何登场、其处理技术如何发展、到底谁说了算，当我们把生命现象当作一个“化学反应”的集合体来看待时，就会明白在那些化学反应中发挥作用的无外乎就是蛋白质和 RNA。

即使辨识了人类 DNA 上所有的碱基序列（也就是基因组），如果不明白由此合成的蛋白质和 RNA 的功能，也没有什么意义。

现在，如果我们知道很多蛋白质的氨基酸信息，并且也了解了它们的功能，那么我们就能够单凭氨基酸信息在某种程度上推测出未知蛋白质的功能。

但是，最后还是必须使用生物化学的手法，去明确那些蛋白质的实际功能。不管我们怎样利用分子生物学的方法（重组 DNA 技术等）去研究并且辨明蛋白质的功能，但是在自然的细胞中，那些蛋白质真的会具有那些功能吗？或许我们需要保留一些疑问。换句话而言，这种做法好比“只见树木不见森林”。只要研究对象为生物体物质，那么生物化学都是必需而且最重要的学问，这一点无论如何都不会改变。

细胞起源之谜——是先代谢，还是先复制

我想我们有时会听说“生命的起源”这个词。生命是多么宏大的一个主题，在此我们先不予以讨论。生命也就是生物的起源我们也暂且不提，重要的就是“细胞的起源”。

细胞到底是如何诞生在这个地球上的？

对于之前学过有关生物化学方面知识的人来说，应该都知道细胞是许多化学反应发生的场所。如合成蛋白质、分解糖分生产能量、分解酒精毒素、通过光合作用生产糖分等各种化学反应，这些化学反应对于细胞来说都是不可缺少的。

我们将为了细胞活动而进行的把一种物质转换为另外一种物质的化学反应或由众多化学反应组成的网络系统总称为“代谢（metabolism）”（请参考 P38）。

也就是说，细胞是化学反应发生的场所，同时也是生物体进行代谢得以“维持生计”的统一的大社会。

另外，生物最大的特点之一就是“能够繁衍子孙后代”。换句话而言就是“可以自我复制”。因为我们人类是多细胞生物，所以繁衍后代的过程有些复杂。最简单的生物单细胞生物是如何繁衍后代的呢？是通过细胞分裂来复制的吗？即使是多细胞生物，其生殖细胞也能够进行细胞分裂，也就是通过“自我复制”来繁衍后代。

细胞繁衍子孙后代的方法正是“自我复制”。说简单一些，就是拿“自己”作模板来简单地进行“复制（replication）”。

现在，细胞应该是在同时进行着“代谢”和“复制”。实际上这两个关键词对于探

索生命起源来说是特别重要的。

“是先代谢呢？还是先复制？”

这是令研究生命起源的科学家们非常头疼的一道难题。也就是说，细胞这个“被细胞膜所包裹着的袋子”出生时，在那个包裹中到底会发生什么呢？有的学者认为：有很多分子聚集着的、进行代谢的袋子有时会得到可以复制的分子，然后会分裂增生。这就是“先代谢”的观点。

有的学者认为：包裹着复制分子进行分裂的“袋子”有时能够进行代谢，这样它会得到更高级的复制方法进而向细胞进化。这就是“先复制”的观点。

有更多的学者认为：设定“谁先谁后”这个问题没有什么意义，“代谢”和“复制”是互相协调、共同进行着的。

总之，代谢这种具有生物化学性的过程是与生命起源这一问题密切相关的，是一种规模宏大的生命现象。

4. 生物化学的实验方法

在第 231 页我们已经说明过，人们最初是通过生物化学的手法才能够弄清楚蛋白质功能。那么，生物化学家们到底每天都在做什么实验呢?

因为研究领域的不同，会包含各种各样的实验方法，我不能一一将它们列举出来。在此，我将介绍一下某些著名的生物化学家正在利用的或曾经利用过的实验方法。

（1）柱层析分离技术

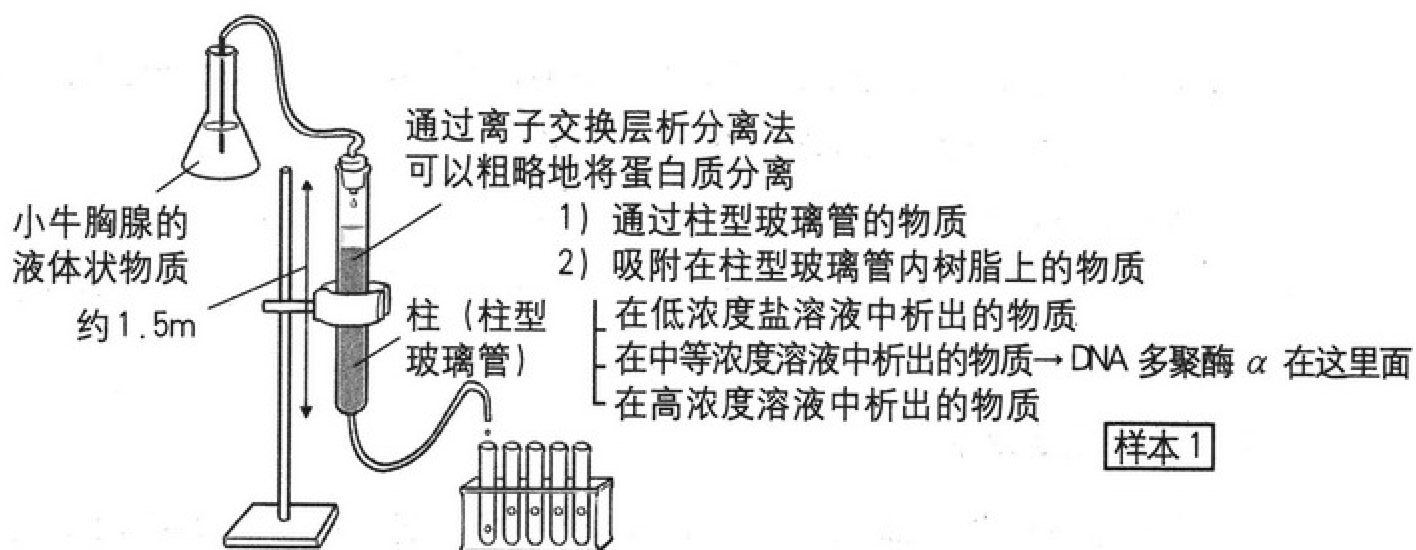
柱层析分离技术（column chromatography）是在多种物质混合的状态下，为了将具有相同性质的物质分离出来而采用的实验方法。比如，我们刚介绍过从美国陆离的提取液和牛胸腺被切碎后形成的液体中能够提取出具有某种性质的蛋白质。在玻璃管等细长的筒状物中放一些具有某种用途的特殊树脂，我们既可以提取吸附在树脂上的物质，又可以提取没有吸附在树脂上的物质。

根据树脂的种类或者蛋白质分子的大小，还包括离子交换层析分离法、凝胶过滤层析分离法、亲和层析分离法等方法。在此，我们将简单地介绍一下从牛的胸腺中萃取“DNA 多聚酶 α”的方法。

如下图①，用搅肉器等将小牛的胸腺搅碎，再利用高浓度盐（氯化钠）溶液等破坏细胞组织，然后从中提取蛋白质等物质的分子。我们让这些提取液（烧瓶内的溶液）通过装有“离子交换树脂”的柱形玻璃管。蛋白质就可以被分为两部分，即吸附在离子交换树脂上的部分和通过离子交换树脂的部分。通过离子交换树脂的物质会通过软管被提取到试管内。但是吸附在离子交换树脂上的物质也能够利用比盐溶液浓度更高的溶液让其从树脂中分离出来，进而被提取到试管中。

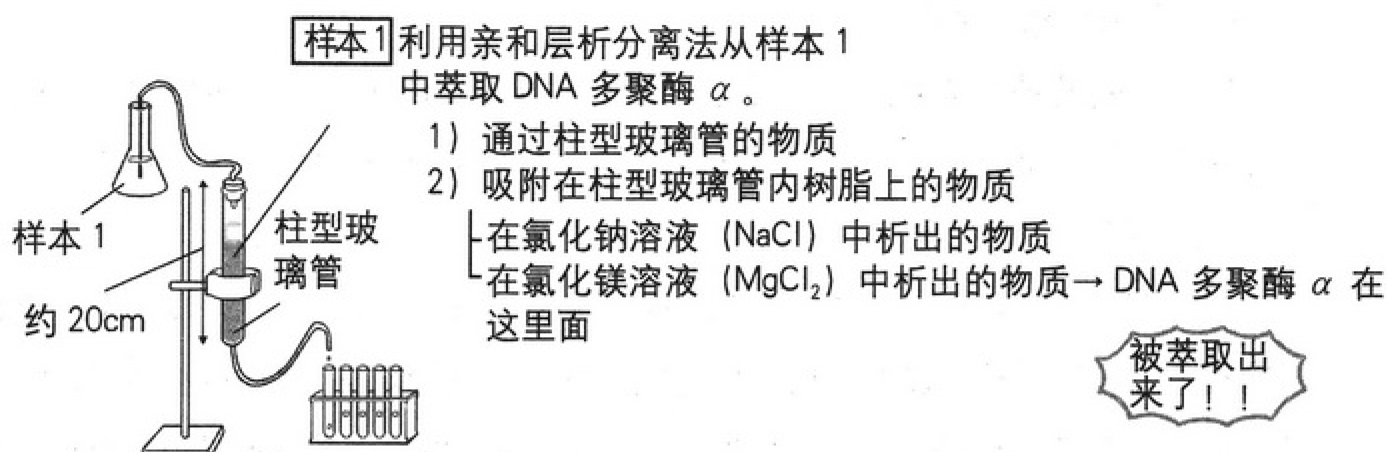
例如 DNA 多聚酶 α，利用浓度为 0.5M（摩尔浓度）的盐溶液就能够将其提取出来（这个为“样本 1”）。

① 离子交换层析分离法



接着，我们把从“样本 1”中萃取 DNA 多聚酶 α 的方法在下图②中表示出来。

② 亲和层析分离法



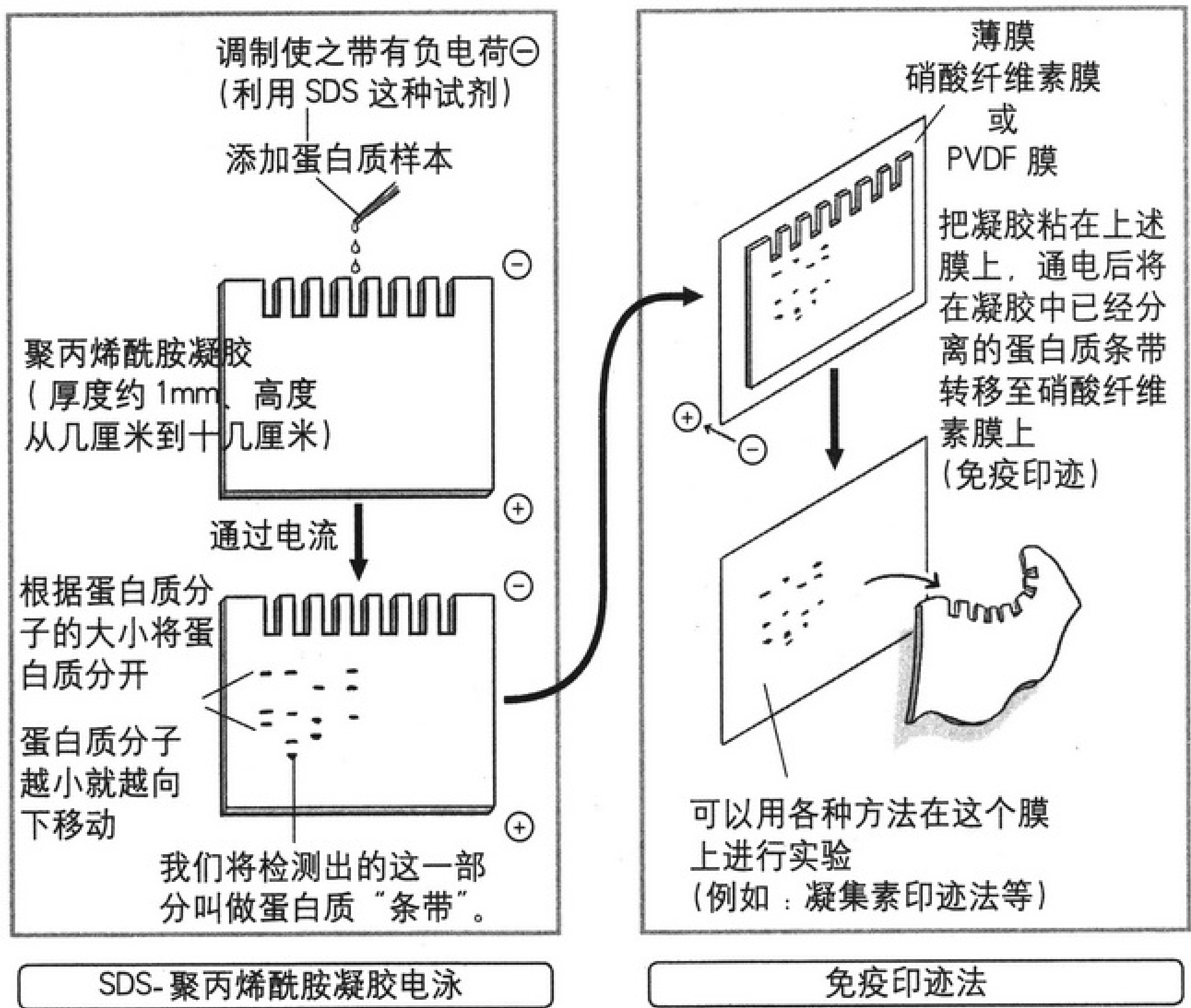
这种方法叫做亲和层析分离法。该方法操作过程为：在略微狭小的玻璃管中装入了树脂，树脂会使只能与 DNA 多聚酶 α 结合的“抗体（免疫蛋白的一种）”与之结合。如果让样本 1 就那样从玻璃管中的树脂中通过，样本 1 就会大致被分为吸附在树脂上的物质和通过了玻璃管的物质。DNA 多聚酶 α 就包含在吸附在树脂上的物质中。接着我们让这部分物质通过浓度为 3.2M 的氯化镁溶液，就能从树脂中提取出 DNA 多聚酶 α 。在此提取出的物质几乎是纯度为 100% 的 DNA 多聚酶 α ，所以此时 DNA 多聚酶 α 被“萃取”出来了。

像这样，结合利用离子交换层析分离法、亲和层析分离法，就能有效地萃取 DNA 多聚酶 α 了。

(2) 电泳及免疫印迹法

这是一种为了分离特定蛋白质、或确认在试料中所包含哪几种蛋白质、或研究蛋白质分子的大小而采用的实验方法。在电泳中最常用的就是“SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-Poly-Acrylamide Gel Electrophoresis)”。该方法的操作过程为：在琼脂状薄平板(凝胶)上放入试料，接着通过电流让蛋白质分子在琼脂中移动，由此可以按照分子的大小将蛋白质分子分离。蛋白质分离后，就可以用特殊的试药让蛋白质分子发生反应，从而检测出是什么蛋白质。

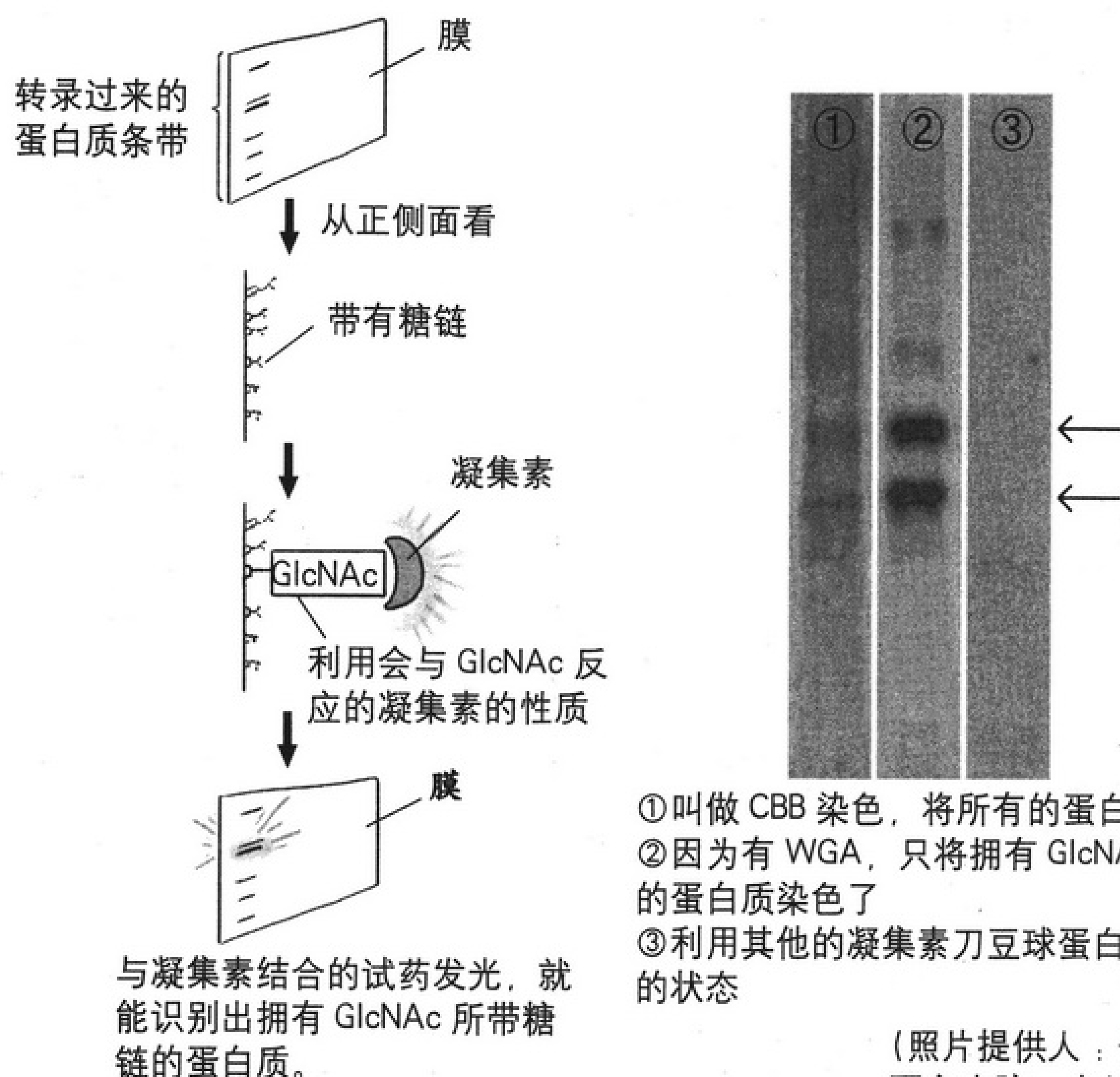
我们把分离后位于凝胶中的蛋白质就那样按照原位放置着转写到薄膜上的方法叫做免疫印迹法(Western Blotting)(如下右图)。在膜上让只与特定蛋白质发生反应的“抗体”与之反应,就能够检测出是哪种蛋白质。之后我们将要提到的“凝集素印迹(Lectin Blotting)”就利用了免疫印迹法。



（3）凝集素印迹法

凝集素是能够特异性地与某种糖链结合的蛋白质的总称。一种凝集素具有只与某一种特异性糖链专一结合的性质，利用这一性质可以识别与蛋白质结合的糖链的种类。利用与免疫印迹法同样的方法将蛋白质转录到膜上后。然后让它与各种凝集素发生反应，检验发生反应后的凝集素，由此就能够确定出转录到膜上的蛋白质所带糖链的种类。我们将这种方法叫做凝集素印迹法。

如下图，这是一种能识别“N- 乙酰葡萄糖胺（GlcNAc）”这种糖所带糖链的凝集素（名称为 WGA：Wheat Germ Agglutinin）。



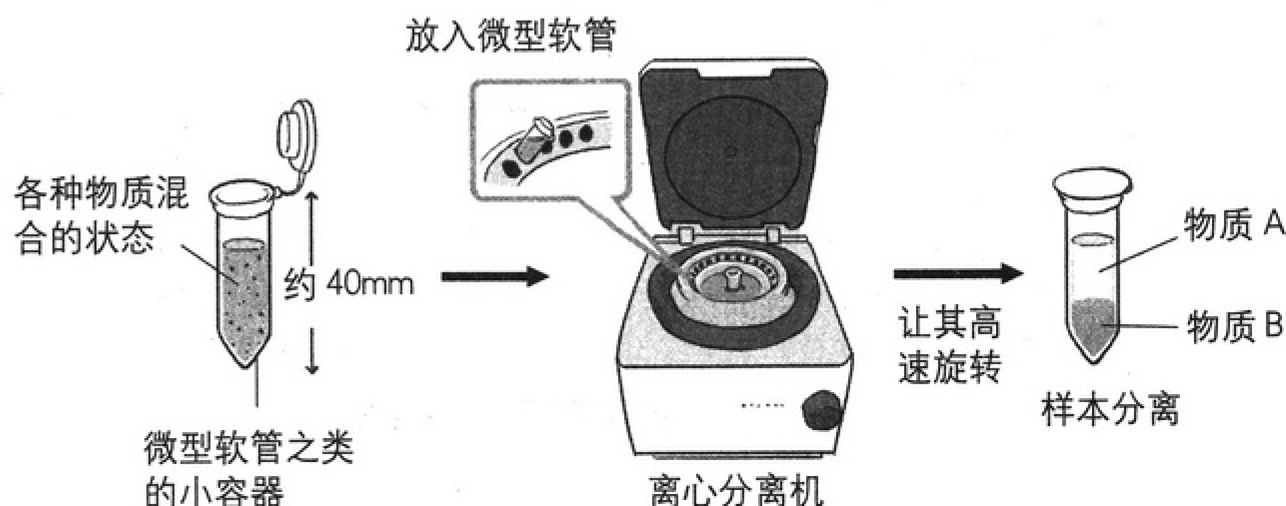
①叫做 CBB 染色，将所有的蛋白质都染色了
②因为有 WGA，只将拥有 GlcNAc 所带糖链的蛋白质染色了
③利用其他的凝集素刀豆球蛋白 A，染色后的状态

（照片提供人：长滨生物大学研究生院　小川光贵）

图中右侧部分实际上是利用凝集素印迹法（使用的凝集素为 WGA）区分海燕（指棘皮动物海燕，为海星纲有棘目海燕科的通称）卵母细胞的粗蛋白而进行的实验，我们能看到有两条大的条带在发光。

（4）离心分离法

离心分离法与柱层析分离技术一样，是在各种物质混合的状态下，将具有相同性质或同一种类的细胞器、蛋白质等分开的实验方法。其操作程序为：把溶液放入试管等容器内，让其高速旋转就能将试料分离。在处理蛋白质等小分子时，有时会采用让其每分钟旋转几万下的“超离心分离”。采用该方法也可以使 DNA 分子等分离。



（5）酶反应测定技术

它是一种测定酶的各种活性的方法。如利用放射性同位素 (radioisotope) 来测定酶参与反应时被反应生成物所吸取的数量的方法、利用底物在酶的作用下会变色的性质来测定酶活性的方法等。

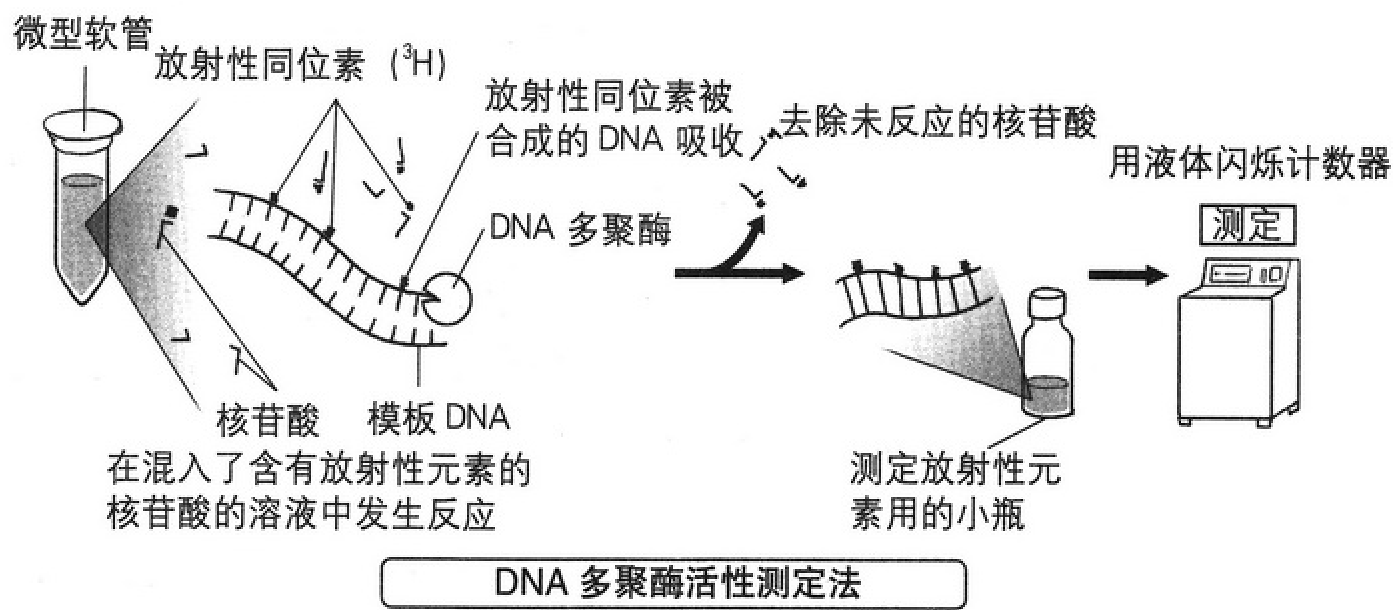
我们将从中解说一下利用放射性同位素测定 DNA 多聚酶活性的方法和根据显色反应来测定 α-淀粉酶活性的方法。

① DNA 多聚酶活性测定法

首先，在微型软管中放入测定活性用的溶液（调整 pH 值等）、DNA 多聚酶、模板 DNA、核苷酸原料、氯化镁，接着在其中加入含有放射性同位素的核苷酸，在 37℃的温度条件下让其在一定时间内发生反应。

于是，在此反应期间，含有放射性同位素的核苷酸会不断地被 DNA 多聚酶在反应期间所合成的 DNA 吸收。去除未反应的核苷酸，将被合成的 DNA 放入测定放射性元素用的小瓶中（实际上放入了会使 DNA 浸入到滤纸中的物质），然后使用测定放射性元素

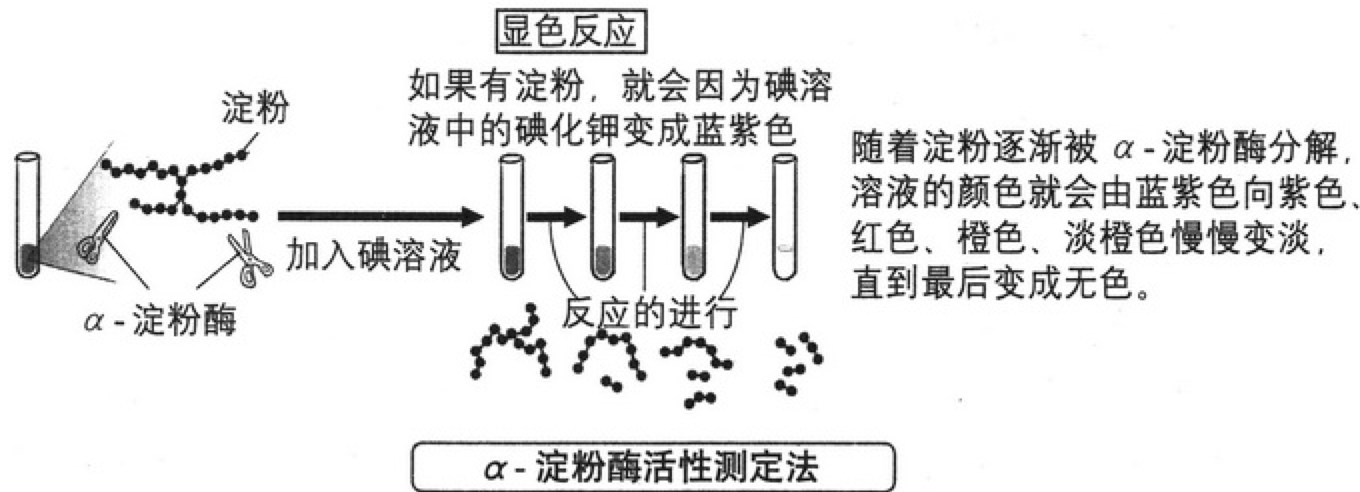
的、名叫“液体闪烁计数器”的仪器来进行测定。如果酶活性越高，就会有越多的放射性同位素被 DNA 所吸收，所以得到的数值就会越高。



DNA 多聚酶活性测定法

② α - 淀粉酶活性测定法

在试管中加入淀粉溶液和 α - 淀粉酶溶液（唾液等）。如果立刻加入碘溶液，淀粉就几乎不会被分解。这样，淀粉会与碘发生反应呈蓝紫色。但是如果在加入淀粉溶液和 α - 淀粉酶溶液之后又过了一段时间，淀粉就会被 α - 淀粉酶分解。随着淀粉逐渐被分解，从加入碘溶液时开始，溶液的颜色会由蓝紫色→紫色→红色→橙色→淡橙色这样而渐渐变淡，当淀粉完全被分解时就会变成无色。我们使用分光光度计之类的仪器，测量出这些颜色的变化状况并将它用数字表示出来，由此就能够测定出 α - 淀粉酶的酶活性。



α - 淀粉酶活性测定法

那么，
到此我们的课就全部结束了！

啪

你终于坚持到了
最后！

辛苦了！

嗯，
黑坂老师……

因为最后一节课
也结束了……

所以，
现在……现在请把那
个告诉我！

キャ

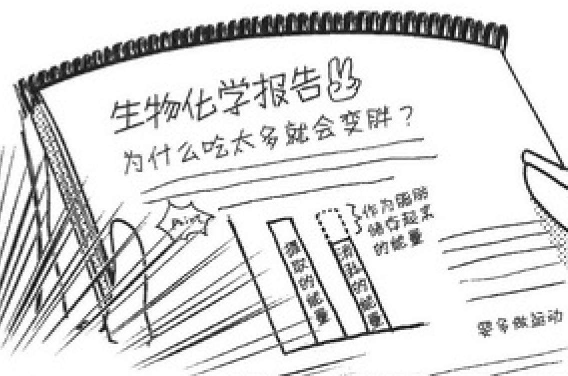
……
……

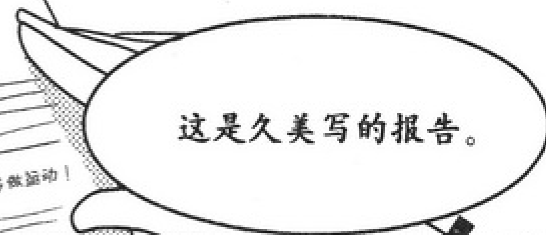
就是之前所说的减
肥秘诀！！！

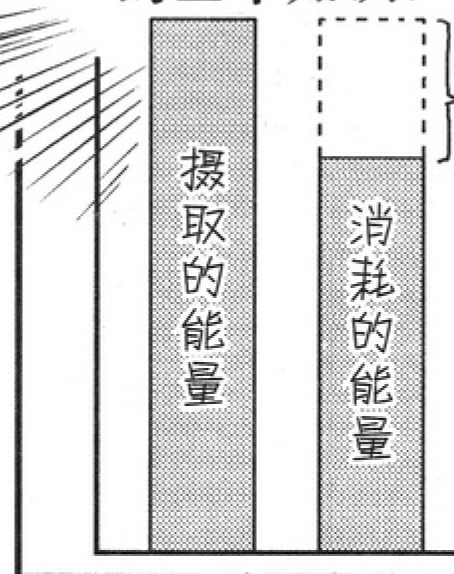

喂，你之前不是在报告中写过了吗？

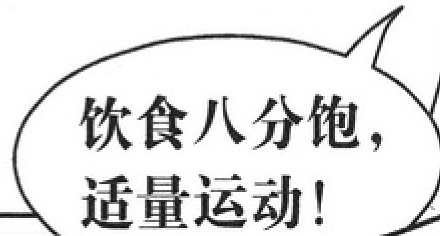

欸？


你看！

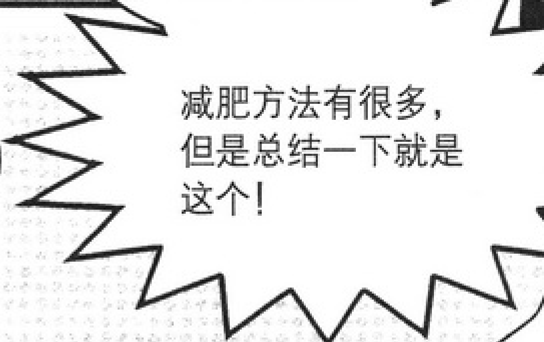

啪啦
生物化学报告
为什么吃太多就会变胖？
摄取的能量
消耗的能量
作为脂肪储存起来的能量
要多做运动！

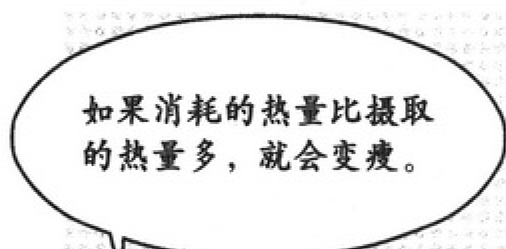

这是久美写的报告。


理解此图就是减肥的基本知识！
摄取的能量
消耗的能量
作为脂肪被储存起来的能量


饮食八分饱，适量运动！




减肥方法有很多，但是总结一下就是这个！


如果消耗的热量比摄取的热量多，就会变瘦。





并且要平衡地摄取所有营养成分！
你们都明白了蛋白质、糖类以及脂类都是非常重要的物质。久美，绝食减肥是多么愚蠢的做法，你明白了吧？
喂！久美！
摇摆
不定
ず——ん
啊！
我到底是为了什么……虽然确实有很多重要的东西
但是……
生物化学笔记
我讨厌一辈子都这样胖乎乎的，一点都不可爱！
久美并不是特别胖……
喂…
うわあああん
对吧？
久美

果然！

久美确实有点胖……

是不是吃了太多的
蛋糕和必胜客？

你有没有想过穿泳衣时的
样子？

发现了新生物！
被我逮住了！

啊……
也没有男孩子喜
欢我！

等等

小猪吗？

啪

啪

呼！

啊……
胖胖的，一点都不可爱
好悲惨啊，
真可怜！

黑坂老师！

哈哈

哈哈

哈哈

呜呜

呜呜

呜呜

你刚才说的话，

我认为……

嗯?

啊？

如果你有什么反对意见，
就说出来听听。

好!

客观地说，久美并不胖!

バタ

ドタ

减轻 5kg!

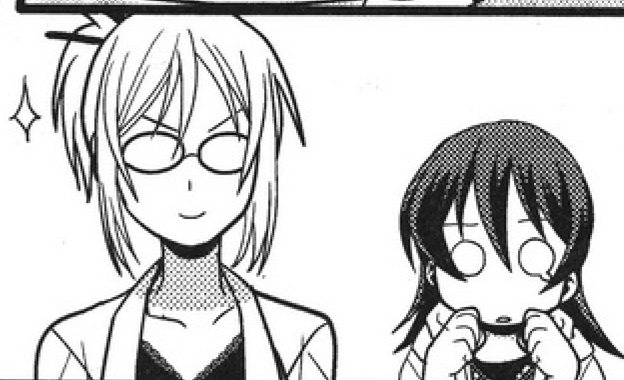
消灭!!

体内脂肪!!

うーん

我认为她现在这样就非
常有魅力!





也就是说，那个……

ぐっ

我认为会有很多男孩子喜欢久美！

现在，我就证明了这一点！！！







啊！

根本君……

对不起！

呃

我是想看看根本君的反应，
所以才故意胡说八道的。

呀！这节课我非常
成功！

被骗了！

久美，你这些日子学
习非常认真。你知道
了有关人体的一些重
要知识吧？

那么不要再胡乱地减肥了！

你们也明白了一些
其他事情吧？

カァアア～

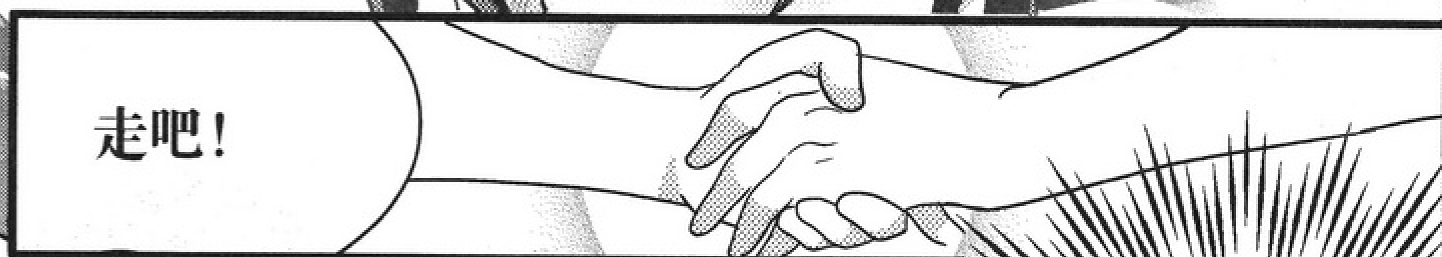

另外，
为庆祝我们的课圆满地结束，
我们一起去吃自助餐吧？
好！
由根本君来请客……
啊！
我手头又不宽裕！


我只是觉得你要做点什么来好好报答我！
喂，快去准备准备吧！
啊
……


嗯……根本君，



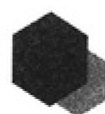




今天阳光不错！
一定要多吃！

参考文献

- 猪飼篤『基礎の生化学・第２版』（東京化学同人）2004
- 池田和正『トコトンわかる図解基礎生化学』（オーム社）2006
- 伊藤三郎編『果実の科学』（朝倉書店）1991
- 今堀和友他監修『生化学辞典・第４版』（東京化学同人）2007
- ヴォート『生化学・第３版』田宮信雄他訳、（東京化学同人）2005
- ケイン他『生物学』石川統監訳、（東京化学同人）2004
- コーン、スタンプ他『生化学・第５版』田宮信雄他訳、（東京化学同人）1988
- コーンバーグ『それは失敗から始まった』新井賢一監訳、（羊土社）1991
- 鈴木紘一編『生化学・第２版』（東京化学同人）2007
- 武村政春『人間のための一般生物学』（裳華房）2007
- 武村政春他『マンガでわかる分子生物学』（オーム社）2008
- 田中正三『生物化学の基礎』（大日本図書）1974
- 東京大学公開講座『コメ』（東京大学出版会）1995
- 遠山益『生命科学史』（裳華房）2006
- 並木满夫他編『現代の食品化学』（三共出版）1985
- 藤野安彦編『食品・栄養のための生化学』（産業図書）1996
- 八杉龍一他編『岩波生物学辞典・第４版』（岩波書店）1996
- 柳田晃良他編『現代の栄養化学』（三共出版）2006
- 柳田充弘『DNA 学のすすめ』（講談社ブルーバックス）1984
- レーヴン、ジョンソン他『生物学・原書第７版』R/J Biology 翻訳委員会監訳（培風館）2006
- ロディッシュ他『分子細胞生物学・第５版』石浦章一他訳、（東京化学同人）2005

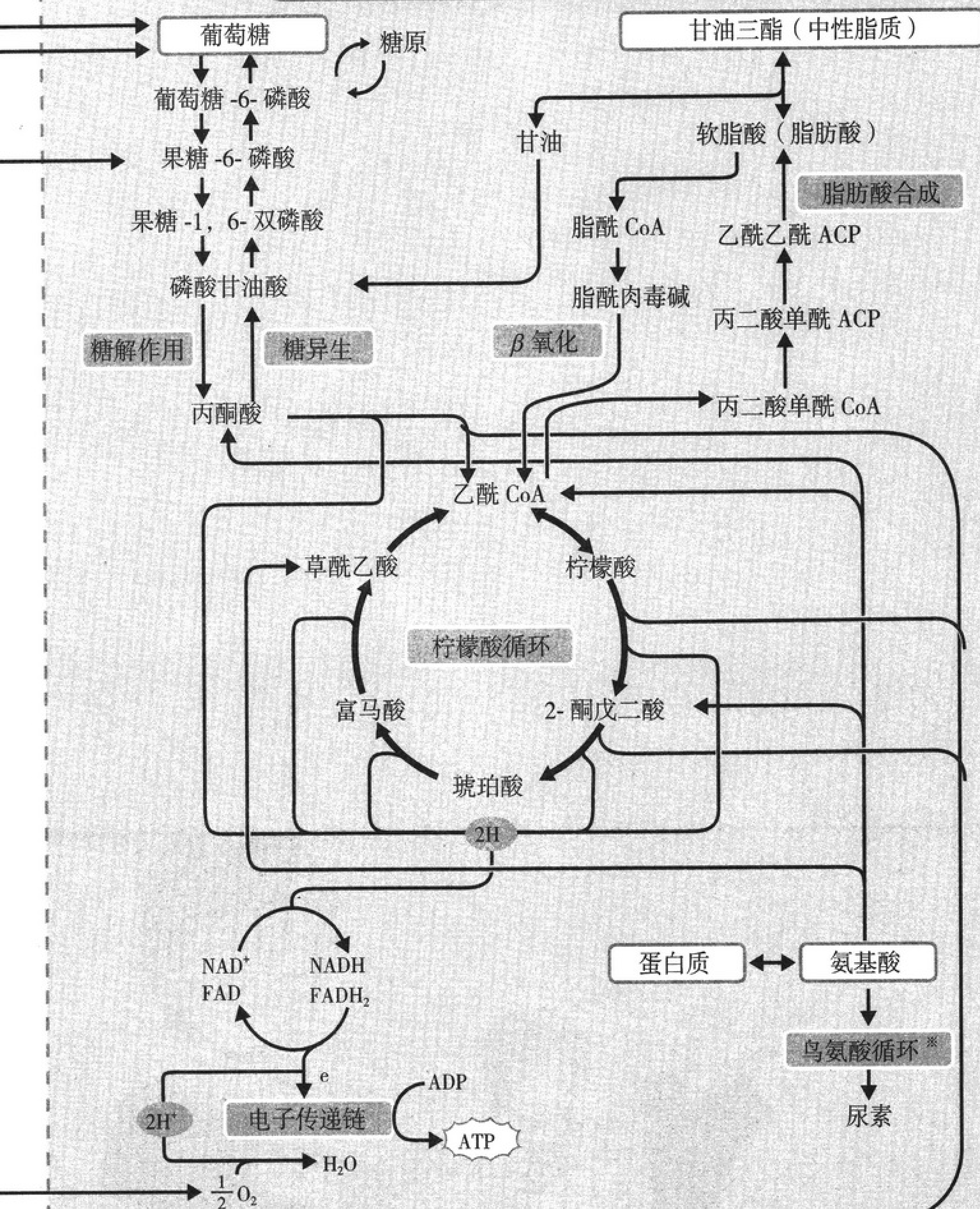


代谢概略图

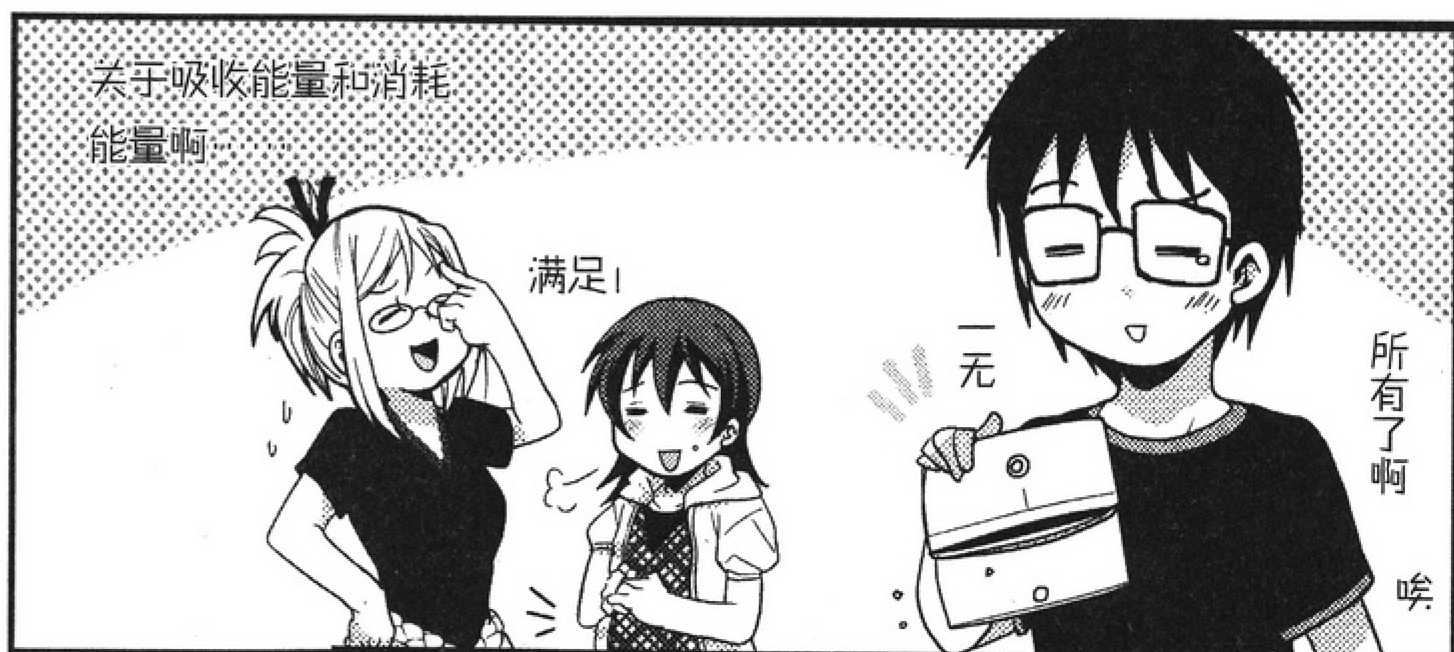
光合作用

淀粉
光能
H_2O
叶绿素
$\frac{1}{2}O_2$
e
电子传递链
$2H^+$
e
果糖
$NADP^+$
NADPH
ADP
ATP
卡尔文循环
磷酸甘油酸
甘油醛-3-磷酸
葡萄糖-1-磷酸
蔗糖
纤维素
CO_2

呼吸及其相关反应



※ 在本书内容中虽然没有被提及，但是因为它是与呼吸相关联的重要代谢途径，所以将它写入了此图中。



所有了啊
唉
一元
满足!
关于吸收能量和消耗能量啊……

(Q-2458.0102)
责任编辑：唐 璐 赵丽艳
责任制作：董立颖 魏 谨
封面制作：许思麒

用漫画这种形式讲数学、物理和统计学，十分有利于在广大青少年中普及科学知识。

周恩来、邓颖超秘书，周恩来邓颖超纪念馆顾问
中日友好协会理事，《数理天地》顾问，全国政协原副秘书长

用漫画和说故事的形式讲数学，使面貌冷峻的数学变得亲切、生动、有趣，使学习数学变得容易，这对于提高全民的数学水平无疑是功德无量的事。

《数理天地》杂志社 社长 总编
"希望杯"全国数学邀请赛组委会 命题委员会主任 周国镇

用漫画的形式，讲解日常生活中的数学、物理知识，更能让大家感受到数学殿堂的奥妙与乐趣。

《光明日报》原副总编辑
中华炎黄文化研究会 常务副会长 鲁谆

科学漫画是帮助学习文科的人们用形象思维的方式掌握自然科学的金钥匙。

中国人民大学外语学院日语专业 主任
大学日语教学研究会 会长 成同社

生命科学是当今世界上最受瞩目的基础自然科学之一。这本书以图文并茂的漫画形式描绘了生命科学的奥妙，希望我的孩子和学生们也能够因此更加了解、更加热爱这一伟大的自然科学。

大连理工大学 生命科学与技术学院 博士 教授 任会健

我非常希望能够在书店里看到这样的书：有人物形象、有卡通图、有故事情节，当然最重要的还有深厚的理工科底蕴。我想这样的书一定可以大大提升孩子们的学习兴趣，降低他们对于高深的理工科知识的恐惧感。

北京启明星培训学校 校长

书中的数学知识浅显实用，漫画故事的形式使知识贴近生活，概念更容易理解。

北京大学 数学科学学院 博士 张磊

上架建议：科普/漫画


ISBN 978-7-03-027106-8

定价：32.00元

科学出版社 东方科龙
http://www.okbook.com.cn
zhaoliyan@mail.sciencep.com